

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vliv vysokého kotvení na stabilitu dlouhého důlního díla
Impact of High Bolting Technology on the Mine Working Stability

Student: Bc. Jindřich Skopal
Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jindřich Skopal**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T035 Geotechnika

Téma: **Vliv vysokého kotvení na stabilitu dlouhého důlního díla**
Impact of High Bolting Technology on the Mine Working Stability

Zásady pro vypracování:

V rámci DP zpracujte studii vlivu vysokého kotvení na stabilitu důlní chodby ražené v uhelné sloji s prachovcovým nadložím a podložím. V rámci osnovy řešte:

- rešerše vysokého kotvení z hlediska materiálů, technologií a způsobů využití
- principy a funkce vysokého kotvení v důlních dílech
- modelové zpracování vlivu vysokého kotvení v pgm. systému Plaxis
- návrh optimálních variant kotvení s využitím spolupráce s krátkými kotvami a vaky Bulflex
- návrh technologie provádění kotvení a zajišťování spolupráce s ocelovou obloukovou výztuží
- závěr a doporučení

Rozsah DP by neměl překročit max. 40 stran textu a příloh.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Sborníky konferencí katedry podz. stavitelství z let 2012, 2013
2. Firemní materiály Minova Bohemia
3. Internetové stránky polského a německého hornictví

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.**

Datum zadání: 28.02.2013

Datum odevzdání: 02.12.2013

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace

V diplomové práci je řešena problematika vlivu vysokého kotvení na stabilitu dlouhého důlního díla. Samotná práce obsahuje dva stěžejní body, které se zabývají rešeršní částí vysokého kotvení a samotného vlivu vysokého kotvení na stabilitu důlního díla. Cílem první části je seznámit se s materiály, technologií a způsoby využití.

V druhé stěžejní části se zabývám vlivem vysokého kotvení a jeho spolupráce s krátkými tyčovými svorníky, obloukovou výztuží a systémem vyplnění prostoru mezi obloukovou výztuží a horninovým masivem, tzv. systém Bullflex. K řešení tohoto úkolu byly použity matematické modely v programovém systému Plaxis 8.2 2D, který je založený na numerické metodě konečných prvků (MKP). Cílem je dokázat vliv dlouhých lanových kotev (systém vysokého kotvení) na stabilitu důlního díla a jeho spolupůsobení s dalšími elementy výztužného systému.

Klíčová slova

Důlní dílo, oblouková výztuž, svorník, posuny, deformace, metoda konečných prvků (MKP)

Abstract

The dissertation deals with the problems of the influence of the high anchoring system on the stability of the long mine work. This dissertation contains two vital points which deal with research part of the high anchoring system and the very influence of the high anchoring system on the stability of the mine work. The first part of the dissertation aims to familiarize with the materials, technologies and applications.

The second part of the dissertation looks into the collaboration among the high anchoring system, short rod bolts, curved reinforcement and the system of filling the space between the curved reinforcement and the rock mass, also known as the Bullflex system. To solve this task, mathematical models in Plaxis 8.2 2D software were used. This software is based on the numerical method of the finite elements, also known as the finite element method (FEM). The aim is to prove the influence of the long cable anchors (the high anchoring system) on the stability of the mine work and its interaction with the other elements of the reinforcement system.

Keywords

Mine work, curved reinforcement, bolts, displacements, deformation, the finite element method (FEM)

Obsah diplomové práce

Seznam použitých zkratk	1
1. Úvod	2
2. Systém kombinované výztuže	3
2.1. Funkce svorníkové výztuže	3
2.2. Přenos zatížení pomocí svorníků	5
2.3. Zadržení stavu vodorovného napětí ve stropu	7
2.4. Funkce podpěrné výztuže	9
3. Vysoké kotvení	10
3.1 Princip a funkce vysokého kotvení	10
3.2 Spolupráce krátkých tyčových svorníků a dlouhých lanových kotev	15
4. Modelová analýza	17
4.1 Programový systém Plaxis 8.2 2D	17
4.2 Numerický model podklady	18
4.3 Geometrické parametry numerického modelu	19
4.4 Materiálové charakteristiky numerického modelu	20
4.5 Numerický model	25
4.6 Zhodnocení výsledků modelů	28
4.6.1 Instalace TH výztuže, krátkých tyčových svorníků a lanových kotev	30
4.6.2 Instalace TH výztuže, krátkých tyčových svorníků a lanových kotev s předpětím	36
4.6.3 Instalace TH výztuže, krátkých tyčových svorníků bez lanových kotev	39
4.6.4 Instalace TH výztuže, krátkých tyčových svorníků a lanových kotev bez základky nadvýlomů	41
5. Závěr	46
6. Seznam použitých zdrojů	48
7. Seznam obrázku	49
8. Seznam tabulek	52
9. Seznam grafů	53
10. Přílohy	54

Seznam použitých zkratk:

- E modul pružnosti oceli [MPa]
 E_p modul přetvárnosti obklopující prostředí [MPa]
 H je skutečná geometrická hloubka díla pod povrchem [m]
 I_x moment setrvačnosti [m^4]
 R_e mez kluzu ocelové obloukové výztuže [MPa]
 R_n mez pevnosti ocelové obloukové výztuže [MPa]
 R_{nk} mez pevnosti ocelové kotvy [kN]
 W_x modul průřezu [m^3]
 σ_r pevnost horniny v tlaku [MPa]
 σ_t pevnost horniny v tahu [MPa]
 γ objemová tíha horniny [kN/m^3]
 ϕ úhel vnitřního tření horniny [$^\circ$]
 μ Poissonovo číslo obklopujícího prostředí [-]
 EA normálová tuhost [kN/m]
 EI ohybová tuhost [kNm^2/m]
 P únosnost svorníků [kN]

1. Úvod

Zhoršená stabilita důlního díla vyplývající z čím dál nepříznivějších geomechanických podmínek, nastoluje požadavek na zvýšení již tak velké únosnosti výztuže. Z tohoto hlediska jsme nuceni používat kromě klasických podpůrných obloukových výztuží i jejich kombinace se svorníkovou výztuží a vysokým kotvením. Tímto se snažíme eliminovat konvergence, bubření počvy a další jevy, které snižují životnost důlního díla.

Technologie vysokého kotvení nám přináší spoustu nových možností, ale hlavně zvýšení zabezpečení samotného důlního díla. V dnešní době je na prvním místě bezpečnost a ochrana zdraví při práci. Vzhledem k tomu, že dnes se pohybujeme v hloubkách přes 1 000 metrů, narůstají nároky na samotné zabezpečení důlního díla. Metoda vysokého kotvení je založena na principu zakotvení prvků výztuže do pevných poloh ve vyšším nadloží. Samotné kotvení provádíme pomocí dlouhých kotev, jejichž délka několikanásobně překračuje výšku důlního díla. S přihlédnutím k tomuto faktu máme kotvy lanové s možností stočení a také kotvy sklolaminátové, které jsou ohebné.

Vysoké kotvení neslouží pouze k podchycení obloukové výztuže z důvodu příliš velkého zatížení, důvodem použití vysokého kotvení je také zlepšit napěťové poměry v okolí díla, zesílit obloukovou výztuž kvůli očekávaným přídatným napětím od postupujícího porubu, od ponechaných hran nevýrubu v nadloží a jiných.

2. Systém kombinované výztuže

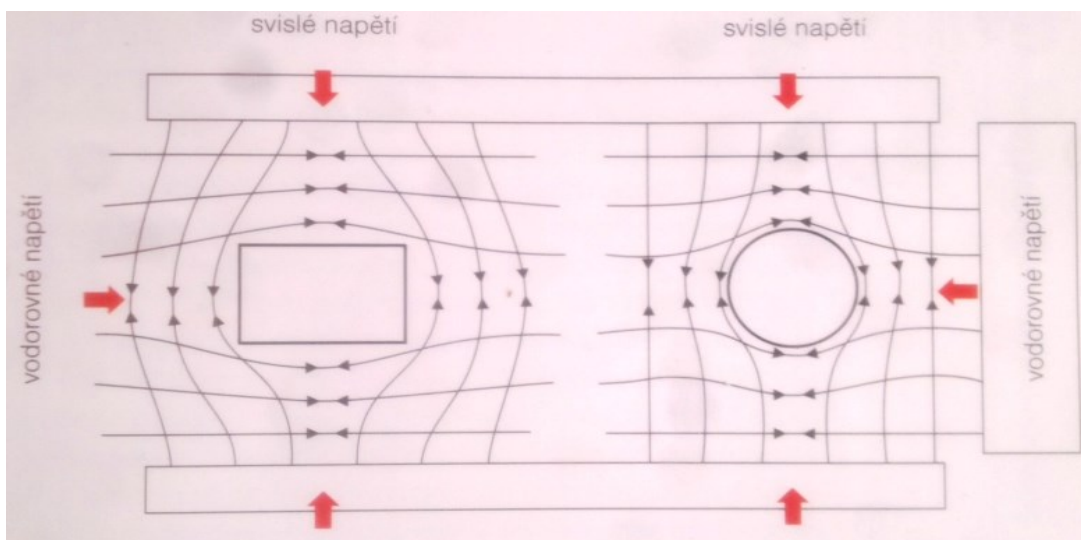
Základními prvky kombinované výztuže jsou oblouková výztuž, krátké tyčové svorníky a dlouhé lanové kotvy. Kombinaci těchto prvků nám vzniká systém výztuže, kdy každá část tohoto systému přejímá určitou funkci vyztužení díla.

2.1 Funkce svorníkové výztuže

Po vyražení podzemního díla se okolní vrstvy v málo pevném horninovém masivu stávají nestabilní. V této chvíli nastává situace, kdy nestabilní vrstvy různými způsoby vyztužujeme. „Hlavním účelem výztuže je aktivace, uchování a zvýšení vnitřního napětí (tahového a smykového) vrstev a udržení jejich nosné funkce.“ [1]

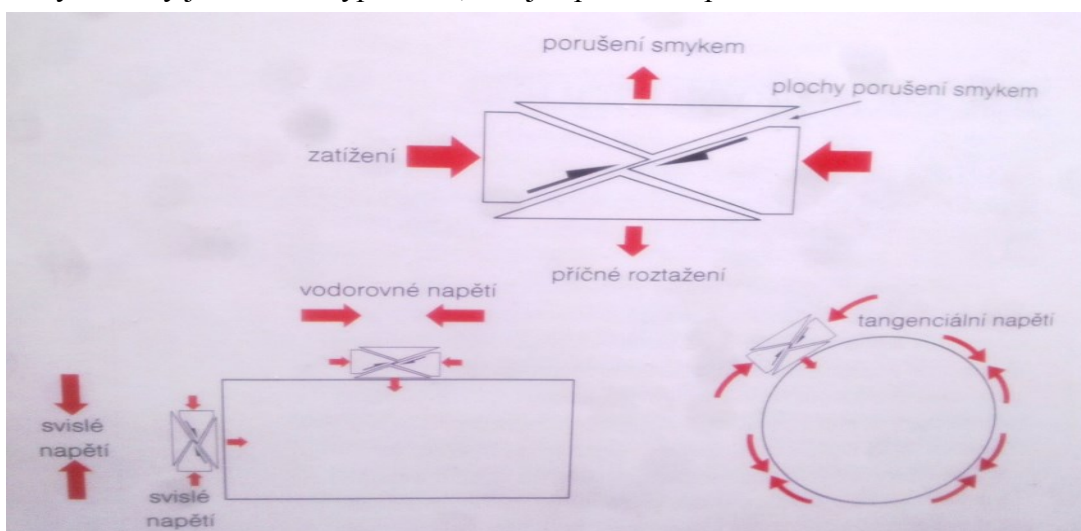
Svorníková výztuž se skládá z nosných prvků (svorníků). Svorník má tyto části: hlavu, patu a dřík. Uchycení svorníků v hornině je buď v patě svorníků, nebo po celé délce dříků. Upnutí svorníků lze docílit mechanicky nebo pomocí tmelů (pryskyřice, cementová malta). Primární funkce svorníků je zpevnění horniny, znamená to, že zvyšují pevnost horninového masivu, do kterého jsou svorníky nainstalovány. Tím se hornina sama stává součástí výztužného systému. Samotná hornina kolem důlních děl se může porušovat smykem podél puklin a dalších oslabených míst. Porušení je zpravidla určováno napětím, které se vytváří kolem podzemních děl. Toto napětí je pro díla s obdélníkovým profilem, vodorovné soustředěné ve stropu a počvě, svislé v bocích. U děl s kruhovým profilem lze koncentraci napětí vyjádřit jako tangenciální napětí, které obklopuje dílo.

Svorníková výztuž upravuje vnitřní chování horninového masivu, proto tato výztuž je nazývána aktivním způsobem vyztužování. „Tyto aktivní zesilující prvky vytvářejí reakci k pohybu horninového masivu, vyvíjejí omezující sílu a přenášejí tuto sílu zpět do horninového masivu.“ [1] Tato síla působí proti horninovému napětí a vytvoří rovnovážný stav.



Obr. 1: Napětí kolem podzemních děl obdélníkového a kruhového průřezu

Ve chvíli, kdy vznikne napětí rovné pevnosti horninového materiálu, nastane porušení smykem se smykovým posunutím a příčnou deformací porušené horniny či tahem. Tento jev můžeme pozorovat v tunelech nebo důlních chodbách, kde máme instalovány svorníky, kdy dochází k vzájemnému přiblížení konců (tzv. „zkrácení“ stropu), a také snížení. Smyk může také zahrnovat klouzavý posun podél přednostně orientovaných puklin a jiných nespojitostí. To může být způsobeno napětím, také při velmi nízkém napětí v pevnějších horninách blízko povrchu může gravitace sama o sobě způsobit posun horninových bloků na plochách nespojitosti, či průhyb vrstev do výlomu. Rovněž mohou kusy horniny jednoduše vypadnout, což je způsobeno porušením tahem.



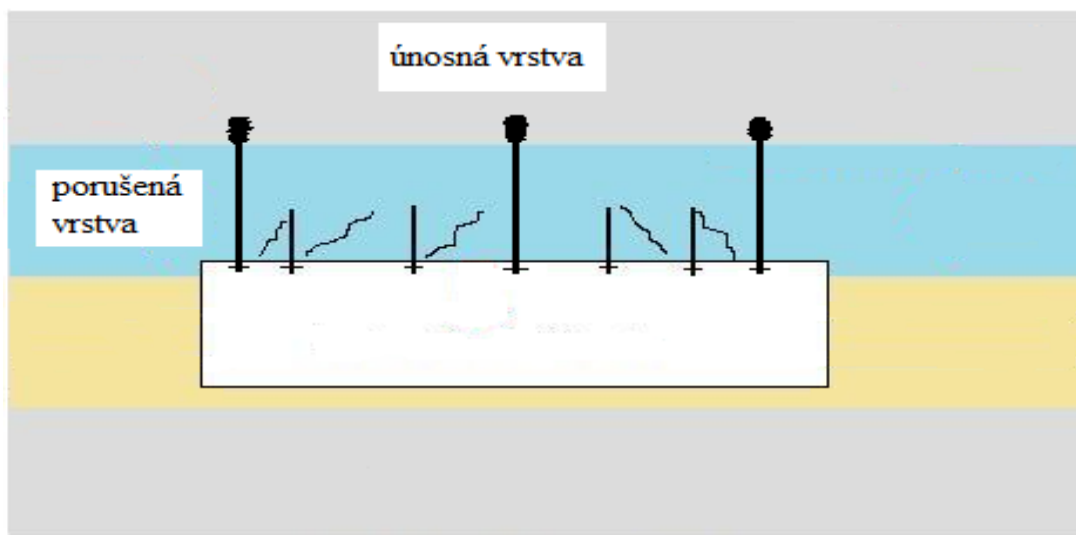
Obr. 2: Porušení smykem obdélníkových a kruhových profilů díla

2.2 Přenos zatížení pomocí svorníků

Svorníky přenášejí zatížení třemi způsoby:

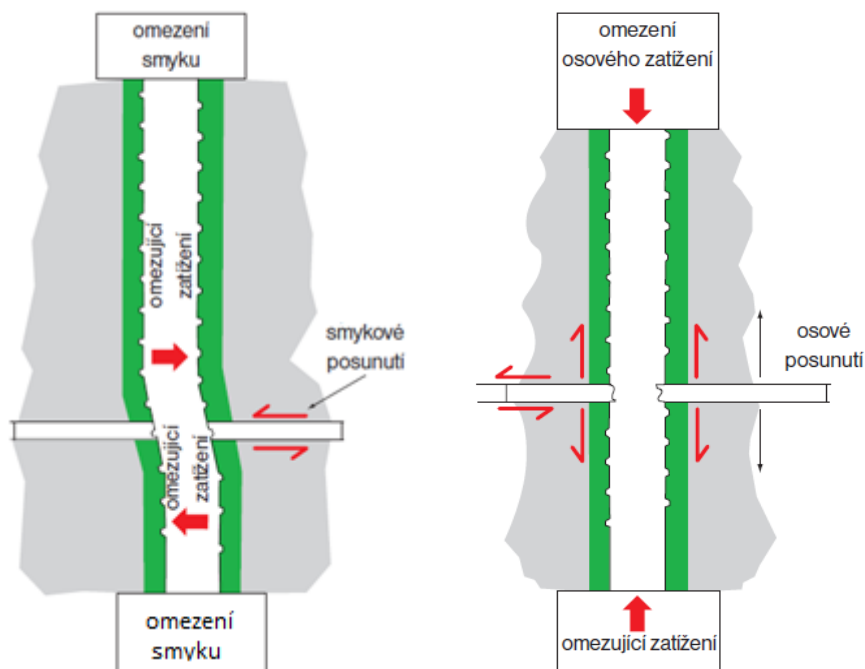
- zavěšením
- přímým omezením smykového zatížení
- omezením smykového zatížení

Zavěšení nebo kotvení bloku znamená podchycení slabé vrstvy pomocí svorníků k výše položené pevnější vrstvě. V tomto případě zavěšená zátěž působí na podložku svorníků a je přenesena pomocí svorníků do výše položené stabilní vrstvy. Využívají se zejména kotvy mechanické. Tato jednoduchá situace je však v dnešním použití svorníků neobvyklá. Na tomto principu je dnes založená metoda vysokého kotvení. Vysoké kotvení nám umožňuje vyztužení neboli podchycení volných bloků, klínu v silně porušeném horninovém masivu, kdy skrz porušené vrstvy kotvíme do navazujících stabilních vrstev.



Obr. 3: Zavěšení bloků rozrušené vrstvy o výše položenou únosnou vrstvu

Přímého omezení smykového napětí dosáhneme vložení svorníků skrz potenciální smykové plochy. Pro tento případ používáme svorníky tmelené po části délky nebo plně tmelené v celé délce. Plně tmelené svorníky jsou nejefektivnější, jelikož poskytují okamžitý odpor. V důsledku plného spojení dochází k drcení horniny a tmele, samotný přenos zatížení probíhá ohnutím svorníku, které také vytvoří osové zatížení. „Přímé omezení smyku je účinné při zabraňování posuvného pohybu na plochách porušení, ale je méně užitečné při omezování porušení smykem u horninového materiálu.“ [1]



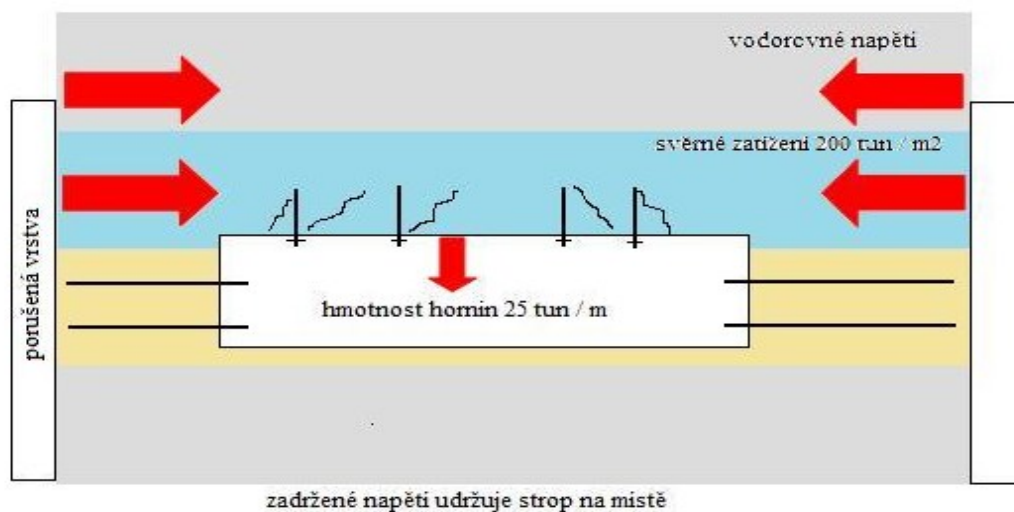
Obr. 4: Znázornění omezovacích funkcí svorníků

Instalaci svorníků napříč potenciální smykovou plochou omezujeme osové zatížení. Osovým omezením bráníme příčnému rozpínání spojenému se smykovým pohybem. I v tomto případě jsou nejvyužívanějším typem plně tmelené svorníky. Přenos zatížení způsobuje osové tahové namáhání ve svornících soustředěné v místě smykové plochy. „To slouží jako svěrné zatížení zvyšující normálovou sílu a tedy i smykovou pevnost, což omezuje porušení smykem.“ [1] Opět zde platí, čím pevnější a tužší vazba (tmel – hornina), tím efektivnější přenos zatížení. U bodově tmelených a zčásti tmelených svorníků je svěrné zatížení daleko menší, ale deformace vyvolaná příčným roztahením je větší. Pokud využíváme kotvy předpínané, vytváří v hornině nad podložkou svorníků

oblast stlačení. „To vede k stahování nespojivosti a zvyšování smykové pevnosti na plochách nespojivosti, čímž se zvyšuje účinnost svorníků.“ [1] Z důvodu toho, že svorník je mnohem tužší než hornina (cca patnáctkrát), ztrácí se původní napětí s malou deformací horniny nad podložkou v důsledku lokálního drcení, porušování a tečení nebo prokluzem ukotveného konce.

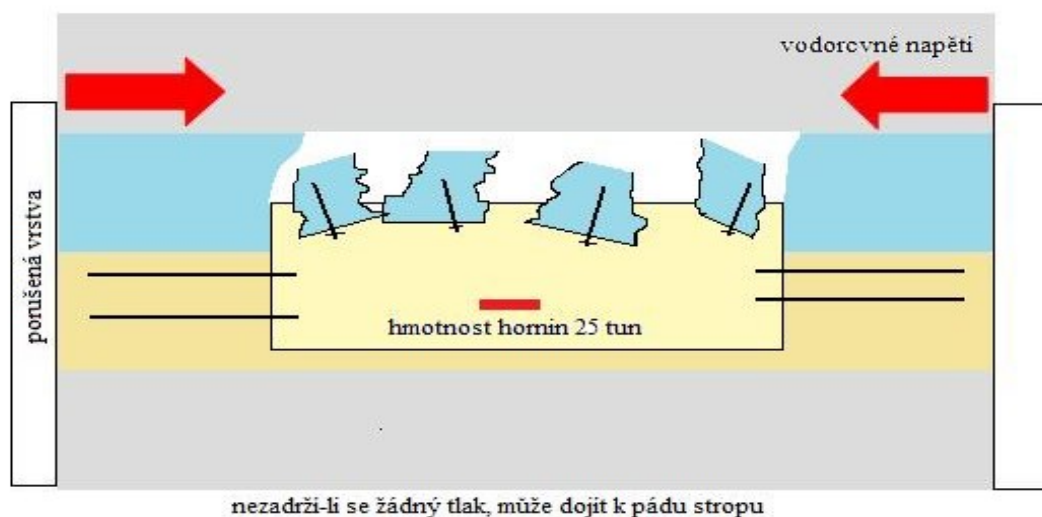
2.3 Zadržení stavu vodorovného napětí ve stropu

Úspěšnou aplikaci svorníků v důlním díle dosáhneme udržení významné úrovně vodorovného napětí ve stropu obdélníkových profilů a obvodového napětí u profilů kruhových. Například v nadloží obdélníkového profilu v hloubce 200 metrů při parametrech horniny: objemová tíha 25 kN/m^3 , poissonova konstanta 0,3 dosáhneme vodorovného napětí 2MPa, z čehož vyplývá, že každým čtverečním metrem horniny se přenáší vodorovná síla o velikosti cca 200 tun. Hmotnost horniny ve výšce 2 m nad profilem díla šířky 5 m je kolem 25 tun na metr čtvereční. Z toho vyplývá, vodorovný tlak je tak velký, že zabrání vylomení a pádu bloků. Ovšem pokud se strop pod touto zátěží poruší, přenášená zátěž se sníží a vodorovné napětí se přerozdělí výše do stropu.



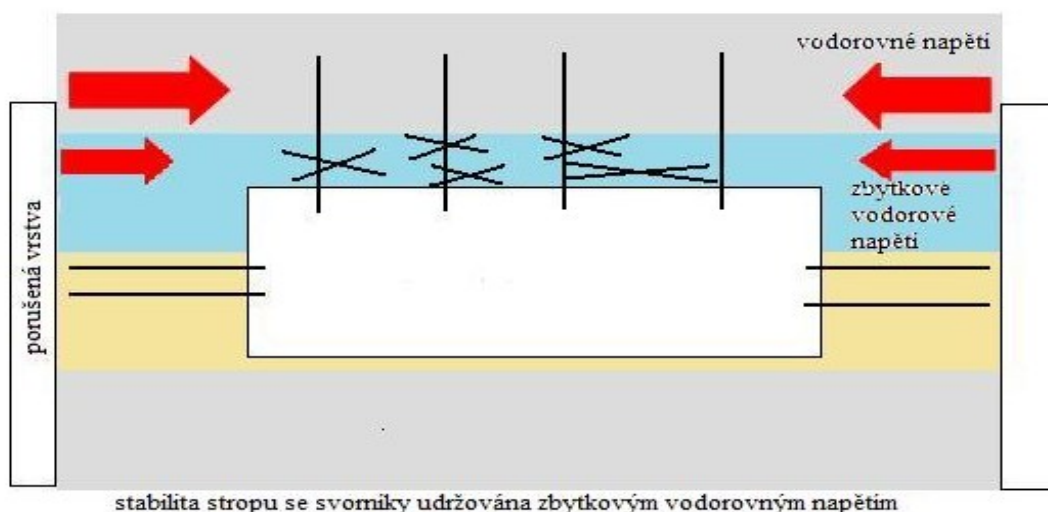
Obr. 5: Udržení napětí ve stropu díla

Ve finále může nastat situace, kdy přesunutá napětí se sníží natolik, že dojde k vylomení stropu (porušení). Svěrné zatížení je natolik malé, že vlastní tíha horniny je vyšší a nastane porušení stropu.



Obr. 6: Svěrné zatížení je menší než hmotnost horniny, může dojít k pádu stropu

Poslední varianta udržení napětí ve stropu je u namáhaných méně pevných hornin. Tyto horniny se typicky vyskytují v hlubokých černouhelných dolech a představují asi nejnáročnější aplikaci svorníkových systému. Problematické jsou vysoké výchozí hodnoty napětí a klíčová je vysoká pevnost vazby a tuhost plně vázaného systému pro maximalizaci výztužného efektu. Díky velkému vodorovnému napětí dochází ke smykovému porušení, tím pádem stabilita stropu závisí na udržení bezpečné zbytkové úrovně vodorovného zatížení. Omezení osového zatížení poskytované svorníky je v této situaci klíčem ke stabilitě stropů.



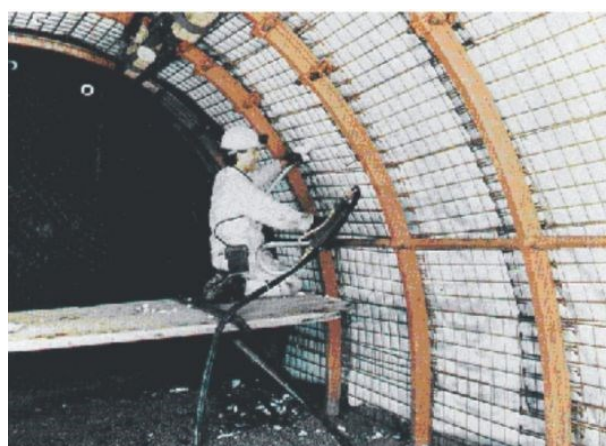
Obr. 7: Výztuž slabého stropu v podmínkách vysokého napětí

2.4 Funkce podpěrné výztuže

Výztuž nám zajišťuje odpor povrchu výlomu vůči horninovému masivu. Výztuž podpírá rozvolněné horniny v nadloží a bocích díla a zabraňuje tak pádu do volného (udržovaného) prostoru. Prvky podpěrné výztuže jsou součástí tzv. pasivního způsobu vyztužování, jelikož jejich aktivace vyztužovacího odporu je podmíněna pohybem horninového masivu. Díla takto vyztužená vyžadují zvětšený výlom, aby zde mohla být instalovaná požadovaná výztuž a přitom zachovaná velikost profilu díla. Jednou z dalších nevýhod pasivní výztuže je velká hmotnost vyztužovacích prvků a tím zhoršená manipulace. V dlouhých důlních dílech obvykle používáme ocelovou obloukovou výztuž se dvěma bočními oblouky a s jedním nebo dvěma stropními oblouky. V poslední době se v OKR vyskytují také díla lichoběžníkového tvaru, kdy se skládají ze stojek a stropních prvků v podobě rovin. Důležité ovšem je, že ke správné funkci obloukové výztuže musí být zajištěn kontakt mezi výztuží a horninou. Tohoto kontaktu docílíme pomocí tzv. základky (pažnice). K základce se používá dřevěných fošen, betonových pažin, pytlů s původní rubaninou a v neposlední radě nového systému Bullflex. Systém Bullflex je založen na polypropylénových rukávcích, které jsou určeny k ohraničení prostoru, jež má být vyplněn cementovou směsí. Po vytvrzení této směsi plní funkci nosného výztužného prvku.



Obr. 8: Ocelová oblouková výztuž



Obr. 9: Systém rukávců Bullflex

3. Vysoké kotvení

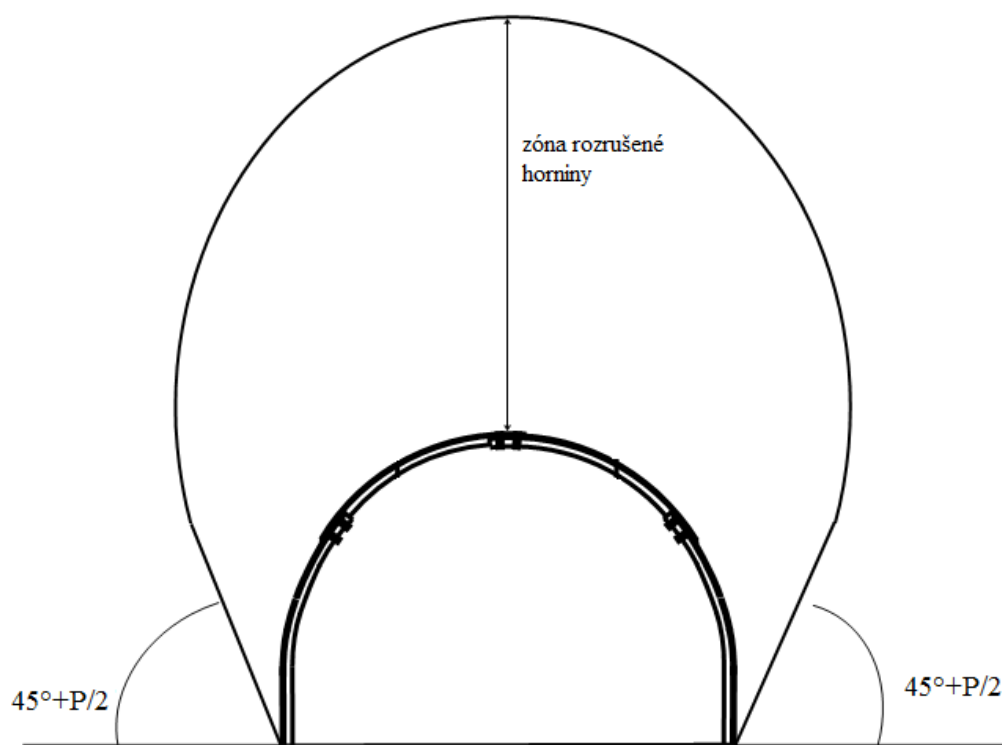
Systém vysokého kotvení u nás aplikujeme v prostředí černouhelných dolů s hloubkou nad 700 m. Samotné vysoké kotvení používáme v kombinaci s ocelovou výztuží, která dnes už sama v těchto hloubkách nestačí. Klasická ocelová výztuž je dnes značně navýšená (váhový stupeň TH 36 a hustota budování á 0,5 m), přesto únosnost výztuže nestačí a volíme kombinaci se svorníkovou výztuží. Díky zhoršeným geomechanickým vlastnostem horninového prostředí důlního díla se této kombinované výztuže dnes využívá čím dál běžněji. Druhou možností využití kombinované výztuže je zvýšení stability, z toho vyplývající životnost díla, jako například v chodbách dvojího využití.

3.1 Princip a funkce vysokého kotvení

„Vysoké kotvení je podpěrný systém výztuže dlouhých a velkoprostorových nebo atypických důlních děl, spočívající v zakotvení prvků výztuže do pevných poloh (vrstev) ve vyšším nadloží nad vyztužovaným důlním dílem.“ [2] Vysoké kotvení má několik částí, ze kterých se skládá. Z podvlaků podepírajícího stropní oblouky nebo roviny podpěrné výztuže, zakotvené pomocí kotev do pevných vrstev ve vyšším nadloží. Veškeré síly působící na výztužné konstrukce, například ocelová oblouková výztuž, se vysokým kotvením přenášejí do horninového masivu. Zatížení podpěrné výztuže se sníží. Z principu vysokého kotvení také vyplývají požadavky na geologickou a geomechanickou stavbu horninového masivu, do něhož bude v nadloží díla kotva uchycená. „Dalším důležitým faktem vysokého kotvení pro stabilizaci důlních děl je zesílit podpěrnou výztuž důlního díla tak, aby vyhovovala přídatným zatížením vznikajícím při vedení stěnového porubu, případně dalším očekávaným přitížením a dílo zůstalo stabilní po požadovanou dobu životnosti.“ [2]

Jako každá technologie tak i problematika vysokého kotvení skýtá několik základních pravidel a problémů. Základní princip samotného vysokého kotvení jsme si už objasnili a spočívá v kotvení prvků výztuže do pevných poloh ve vyšším nadloží. Po samotné výstavbě důlního díla vzniká tlak horninového prostředí na výztuž. Velikost zatížení výztuže je rovno tíze uvolněných zemin pod klenbou přirozené rovnováhy. Vycházíme

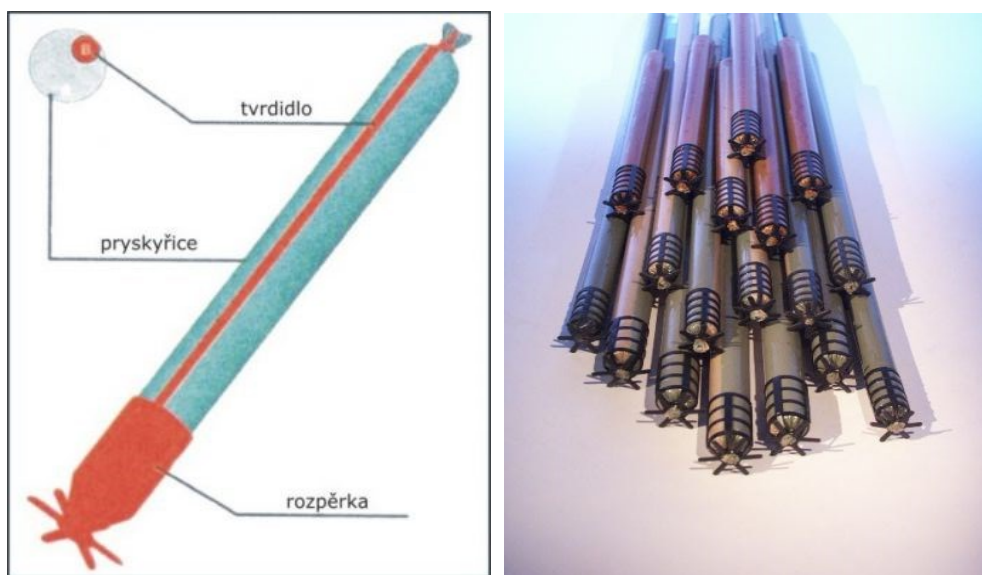
z modifikace klenbových teorií. Samotný tvar klenby ovlivňuje několik faktorů, kterými jsou vrstevnatost a trhlinovitost prostředí. V našem případě, kdy se bavíme o hloubkách nad 700 m, je nutné si uvědomit mnohem větší následky porušení rovnováhy masivu. V těchto hloubkách mnohdy dochází k degradaci horninového masivu, nastávají posuny i v desítkách centimetrů a tlaky se projevují také z počvy a boků díla. Proto v těchto hloubkách přistupujeme k otázce určení zatížení výztuže. „Teorií máme několik – klenbová teorie, metody teorie mechaniky kontinua a metody inženýrské.“ [3]



Obr. 10: Schéma klenbové teorie dle Protodjakonova pro kruhové dílo

Dle velikosti zatížení dimenzujeme podpěrnou výztuž, která již mnohdy nestačí, a proto ji volíme v kombinaci s dlouhými kotvami. Další možností je počítání s přitížením výztuže a opět kombinace s dlouhými kotvami. Kotvy procházejí přes uvolněné horniny pod klenbou a kotvíme je ve vyšší únosné vrstvě. Podle velikosti rozrušené (uvolněné) horniny volíme délku kotev. Délky kotev se pohybují různě až do 15 metrů. Kotvy jsou uchyceny minimálně jeden metr od rozvolněné vrstvy. Je ovšem problém přesně definovat a lokalizovat, kde tato rozvolněná vrstva končí. Jednou z možností je inženýrsko-geologický průzkum, dle kterého je možno určit rozhraní jednotlivých vrstev. Kořen kotvy v únosné vrstvě lepíme například pomocí ampulí Lokset. V porušené vrstvě můžeme kotvy lepit po celé délce. Musíme si ovšem uvědomit, že spotřeba lepidla (pryskyřice) v silně porušené

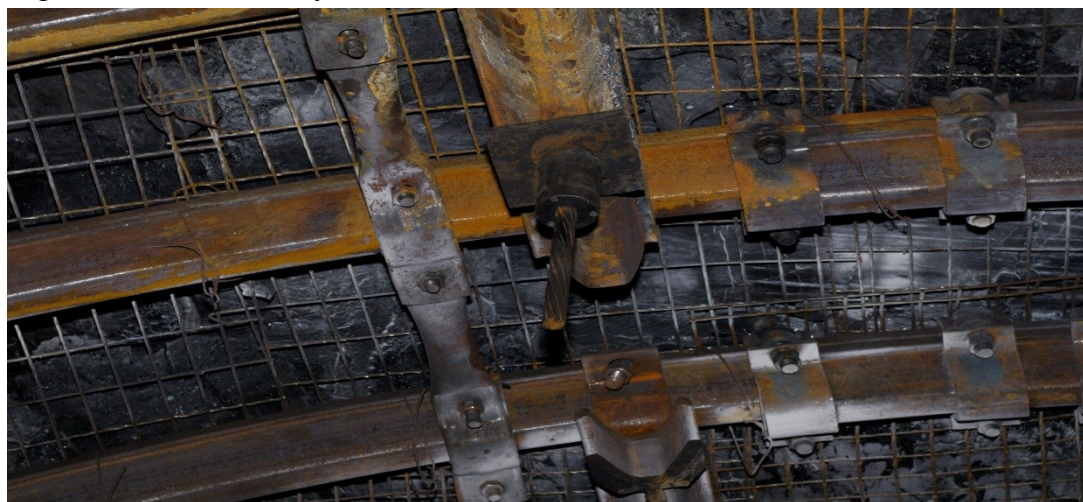
vrstvě může být větší (zaplnění trhlin, prasklin, kaveren). V této variantě používáme dvousložkové injekční pryskyřice, kterou instalujeme pomocí injekční hadičky. Další možností dlouhých lanových kotev je předpínání. Napínané svorníky se používaly zejména u mechanických bodově přichycených svorníků. Mělo to ten efekt, že hlava svorníku byla řádně usazená. V dnešní době předpínané svorníky používáme i u svorníků lepených pryskyřicí. Předpínání bodových nebo částečně tmelených svorníků vytvoří v hornině nad podložkou oblast stlačení. Toto stlačení má za následek stahování nespojivosti a tím zvyšování smykové pevnosti na plochách nespojivosti. Předpínání svorníků lepených po celé délce dosáhneme použitím dvou pryskyřic s různou dobou vytvrzování. Utahujeme matici po zatuhnutí rychlé pryskyřice, ale před vytvrzením pomalé pryskyřice to má pak za následek vnesení napětí do svorníků i při plné délce ukotvení. Hlavní výhoda svorníků předpínaných a lepených po celé délce je, že se podložka svorníků přitiskne těsně ke stropu a veškeré otevřené nespojivosti se uzavřou. Otázka ale je, kdy má cenu svorníky předpínat a kdy nikoliv. Zjednodušeně například dlouhé kotvy má cenu předpínat tehdy, kdy mají ponechanou volnou délku a jsou zakotveny přímo na horninu, která je relativně kompaktní. Naopak nemá cenu předpínat tehdy, kdy nelze trvale zajistit napětí, opíráme se o volnou podpěrnou výztuž nebo je hornina ve velice špatné kvalitě. Poté je lepší kotvy lepit po celé délce.



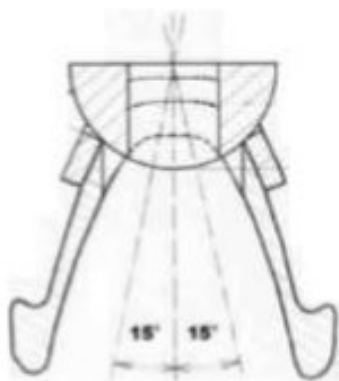
Obr. 11: Lepicí ampule Lokset

Přenos zatížení mezi výztuží a kotvou dochází přímo výztuž - kotva nebo pomocí rovinných podvlaků (stropnic), které jsou mezi výztuží a kotvou. Problém nastává

v reálném důlním provozu, kdy podpírané oblouky ocelové výztuže jsou různě výškově přesazené, takže některé po instalaci a ukotvení podvlaku se s ním vzájemně nedotýkají. Vzniká mezera mezi podvlakem a příslušným obloukem a tím nerovnoměrný přenos síly oblouk – podvlak. S narůstající délkou podvlaku vzniká větší nebezpečí mezer mezi obloukem výztuže a podvlakem. Podle zkušenosti nebezpečí mezer narůstá s dobou, po kterou je důlní dílo vystaveno tlakům horniny před realizací vysokého kotvení. Realizují-li se vysoké kotvení bez zbytečných průtahů ihned po vyražení díla, je možno předpokládat určitou rovnoměrnost v zabudovaných obloucích a tedy i menší nepravidelnost uložení horních oblouků. Protažení táhla kotvy samotným podvlakem je vypáleným otvorem v podvlaku. Toto zeslabené místo v podvlaku kompenzujeme přeplátováním a speciální podložkou (válcová podložka), které přenáší část zatížení a zpevňuje celý systém. Válcová podložka také umožňuje odklon osy kotevního prvku od svislice až o $\pm 15^\circ$, což umožňuje stropnice umístit až do vzdálenosti 1,5 metru od osy díla, a je stále zachován optimální styk stropnice s obloukovou výztuží.

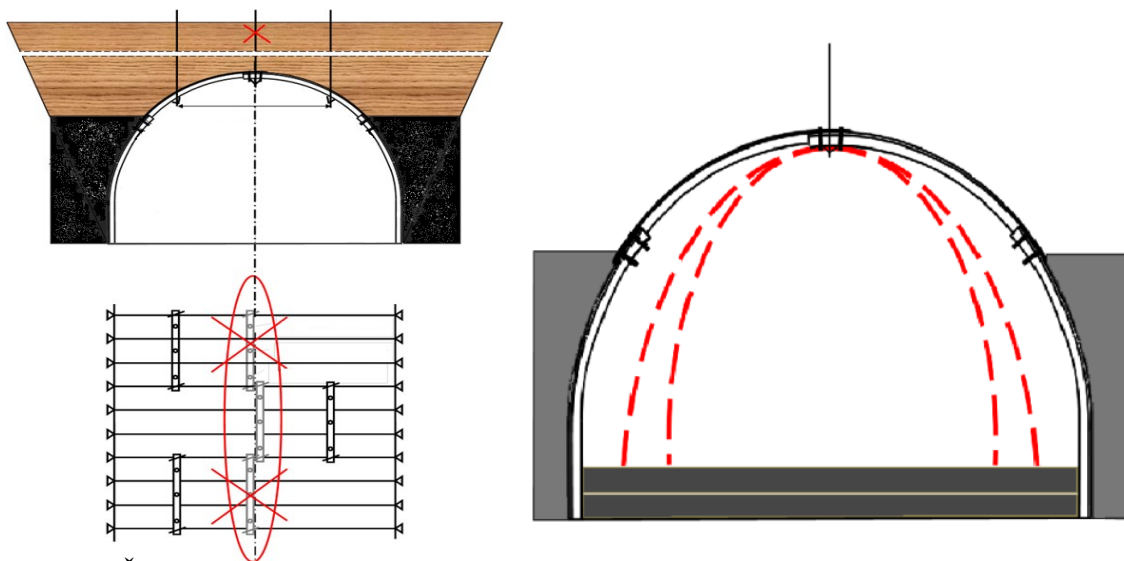


Obr. 12: Stropnice přes obloukovou výztuž a lanová kotva MCA-M



Obr. 13 TH podvlaky (stropnice) s válcovou podložkou

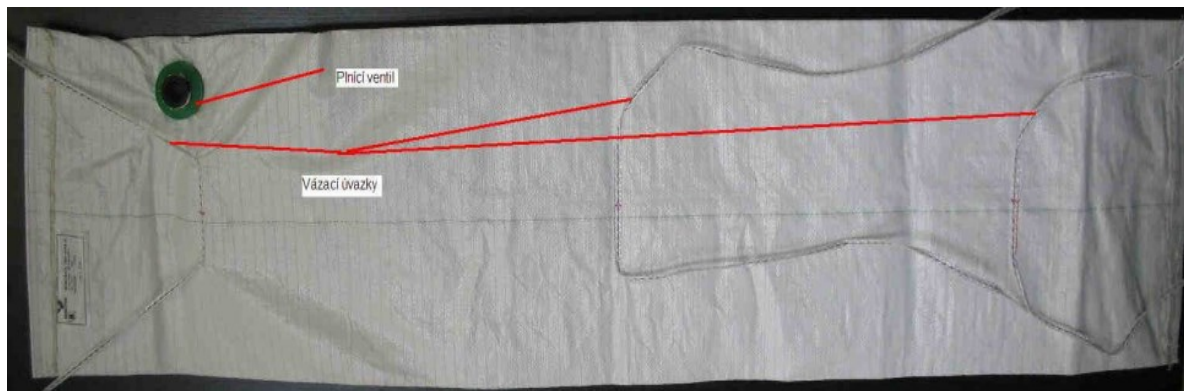
V návaznosti na možnost odklonu podvlaků mimo osu díla je možné řešit různě s ohledem na technologické aspekty a zejména na působení největších tlaků a tím spojená jejich minimalizace vlivu na deformaci výztuže. Podvlaky instalujeme průběžně v ose díla, nebo vyosené (vhodnější způsob). Jsou i další způsoby, jak podvlaky rozmístit, ale nejdůležitějším aspektem pro rozmístění podvlaků je působení největších tlaku, místo rozvolněné oblasti, strana přilehlá k porubu atd. V těchto případech adekvátně prodlužujeme délky kotev a volíme šachovnicové uspořádání podvlaků.



Obr. 14: Šachovnicové rozmístění podvlaků a umístění v ose díla

Jedním z dalších důležitých aspektů správné funkce kombinované výztuže je již zmíněný kvalitní kontakt podpěrné výztuže a horniny, musí dojít k tzv. aktivaci výztuže, viz kapitola 2.4 Funkce podpěrné výztuže. Není-li zajištěn tento kontakt, pak se technicky nejedná o kombinovanou výztuž, jednotlivé systémy obloukové výztuže – kotva nespolečně pracuje a podpěrná výztuž nepomáhá plně stabilizovat a zvyšovat tuhost nadloží. Správný způsob spolupráce nastává tehdy, kdy je zajištěn kontakt výztuže a horniny například zastříkáním betonu, pomocí vaků s plnivem atd. Vaky systému Bullflex se plní minerální cementovou směsí, která po vytvrzení plní funkci nosného vyztužovacího prvku. Pokud je takto zajištěn výrub, má smysl zde použít kombinovanou výztuž (kotva – výztuž). Naopak kotvit oblouky dlouhými kotevními prvky, aniž by výztuž podepírala horninu, není technicky optimální. Hornina se nejprve bude deformovat, přičemž může dojít k překročení tuhosti vyztuženého bezprostředního nadloží a teprve následně dolehne na obloukovou výztuž a zatíží i instalované dlouhé kotvy. Problémem může být, že tou

dobou už je strop natolik porušený, že princip zavěšení už nebude fungovat. Navíc za další potíží se může považovat samotná zkouška vysokého kotvení, když při ní zvedneme obloukovou výztuž, aniž bychom se dostali na hranici samotné únosnosti kotvy (tahová zkouška).



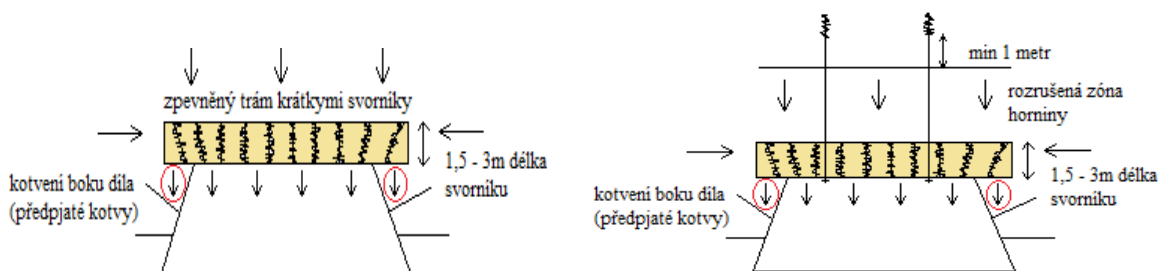
Obr. 15: Podélný výplňový vak systému Bullflex

3.2 Spolupráce krátkých tyčových svorníků a dlouhých lanových kotev

Princip a funkci vysokého kotvení jsme si objasnili v předchozích kapitolách. Řešili jsme spolupůsobení podpěrné výztuže a dlouhých kotev. Je nutné ovšem říci, že důležitým faktem pro primární zajištění díla jsou krátké tyčové svorníky. Americko-australská metoda výztuže je založená na samotné svorníkové výztuži, primární zajištění (primary support) krátkými svorníky a sekundární zajištění (secondary support) s dlouhými lanovými svorníky. Tato modifikovaná metoda výztuže pro složité podmínky v OKR se používá v kombinaci krátkých svorníků, podpěrné obloukové výztuže a dlouhých kotev.

Primární zajištění horniny nad výrubem pomocí krátkých svorníků má za úkol vyztužit a stabilizovat bezprostřední nadloží (klenbu nebo nosník). Krátké svorníky (délky 1,5–3 m) přenášejí tahové a smykové napětí. Běžně používaná délka v OKR je kolem 2,4 metrů. Nesmí dojít k rozvolnění nadloží (oddělení vrstev) a k prolomení nadloží vertikálním nebo horizontálním napětím. Pokud toto primární zajištění horniny provedeme správně, vznikne nám vyztužený blok relativně tuhé horniny. Takovéto zajištění je rovněž základem bezpečnosti práce na pracovišti, omezíme tím riziko pádu horniny a je možno provádět další činnosti. Dlouhé kotvy se instalují v druhém sledu. Jejich cílem již není zvýšení tuhosti bezprostředního nadloží, ale podpoření únosnosti prokotvené zóny (tuhý vyztužený

blok horniny). Délka těchto lanových (pramencových) kotev se pohybuje od již zmíněných 6 až 15 metrů. Tyto dlouhé kotevní prvky mají výrazně vyšší kapacitu (300–600 kN) a bezprostřední nadloží se na tyto dlouhé kotvy "zavěsí".



Obr. 16: Primární zajištění díla (vyztužený nosník) a následné zavěšení pomocí lanových kotev do vyššího pevného nadloží

Metoda primárního zajištění pomocí krátkých svorníků a následné zavěšení je pro zdejší podmínky lehce idealizovaný. Pro správnou spolupráci musí být dostatečně provedené primární zajištění svorníky a dosažení tuhosti bezprostředního nadloží. V opačném případě bude mít zavěšení na dlouhé kotevní prvky omezený nebo žádný efekt. Ve zdejších podmínkách a enormních hloubkách pod 1 km se osvědčil koncept kotvení zvýšeného počtu primárních svorníků s prodlouženou délkou, které by zajistily zvětšení vyztužené zóny. Tato alternativa je především časově náročnější (více vrtání) a tedy i dražší. Důležité je ovšem říct, že v podmínkách OKR, kde dochází k důlním otřesům, je samotná svorníková výztuž takřka nemožná a musí být kombinovaná s již zmíněnou podpěrnou výztuží, kterou „podchycujeme“ na lanové kotvy.

4. Modelová analýza

Pro řešení napěťo-deformačního stavu masívu v okolí důlního díla využíváme nejčastěji matematického modelování. Teorií, dle kterých lze řešit úlohy, je několik. Pro řešení úloh interakce podzemních konstrukcí s horninovým prostředím je nejpoužitelnější metoda konečných prvků (MKP).

Stěžejním bodem diplomové práce je stanovit teoreticky numerický model, který vystihuje charakter horninového prostředí dle inženýrsko-geologického průzkumu a navrhnout optimální varianty výztužných prvků. Na základě teoretických znalostí problematiky vysokého kotvení řešených v bakalářské práci (Skopal 2012) vytvářím numerický model dlouhého důlního díla. Cílem je podle dosažených znalostí navrhnout optimální svorníkovou výztuž s obloukovou výztuží a zjistit vliv vysokého kotvení na tuto kombinovanou výztuž. Na samotný numerický model byl použit software Plaxis, verze 8.2 2D. Zvolený software pracuje na základě metody konečných prvků (Finite Element Method), která je vhodně používá pro úlohy mechaniky hornin, zemin a mechaniky podzemních konstrukcí.

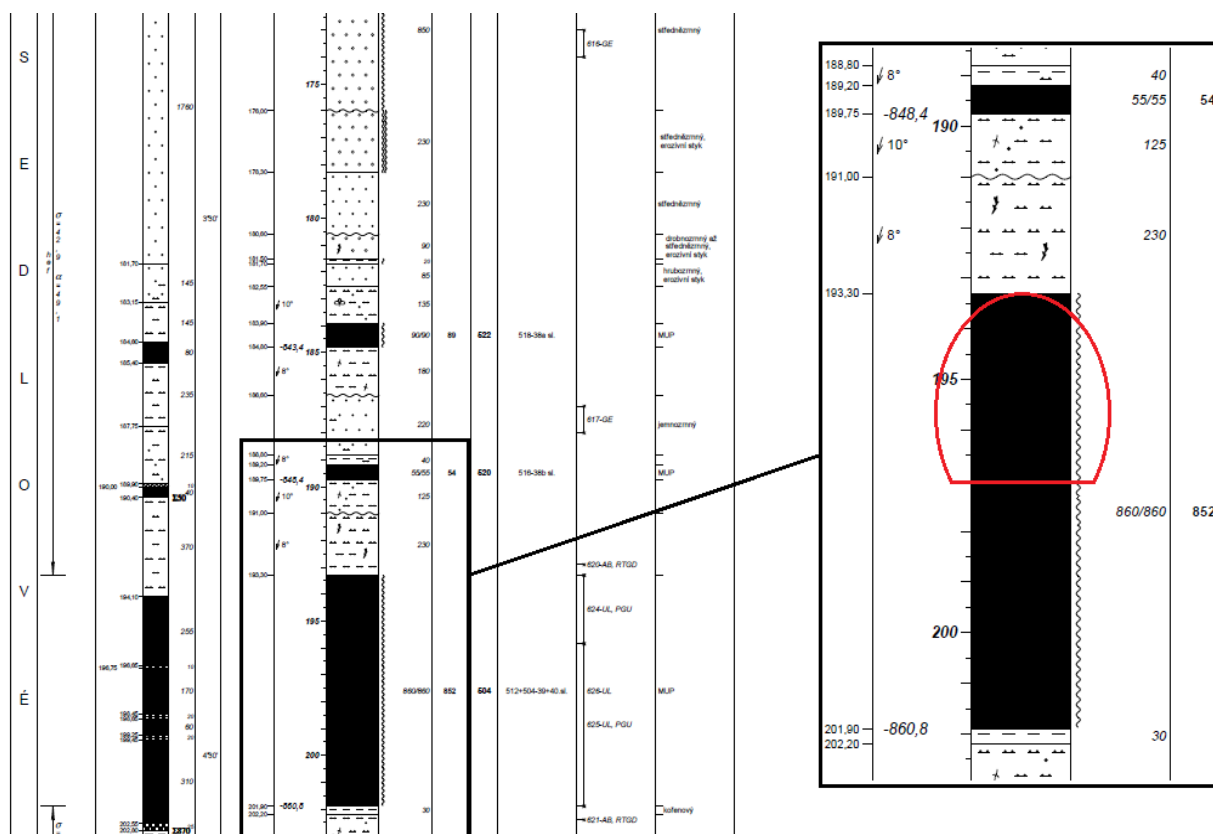
4.1 Programový systém Plaxis 8.2 2D

Plaxis 8.2 2D je programový komplexní výpočetní systém, který je založen na numerické metodě konečných prvků. Jak z názvu vyplývá, jedná se o software zaměřeny na rovinné úlohy. Byl vyvinut pro napěťo - deformační stabilitní analýzu geotechnických úloh, případy rovinné deformace a axiálně symetrických modelů. Metoda konečných prvků dělí kontinuum na určitý počet prvků (trojúhelníková síť). Každý prvek je tvořen uzlovými body, v nichž lze určovat neznámé parametry, které jsou mezi sebou propojeny vazbami. Soustavou algebraických rovnic, jež jsou sestavovány pro každý konečný prvek, vyjadřujeme vztahy mezi proměnnými jednotlivých uzlů. Soubor rovnic, složený z jednotlivých soustav, je řešen na základě spojitosti a rovnováhy v uzlech, zavedením okrajových podmínek. Software Plaxis dává možnost modelovat jak hydrostatické, tak i

hydrodynamické účinky vody v zeminách a také vzájemnou interakci mezi konstrukcí a prostředím.

4.2 Numerický model podklady

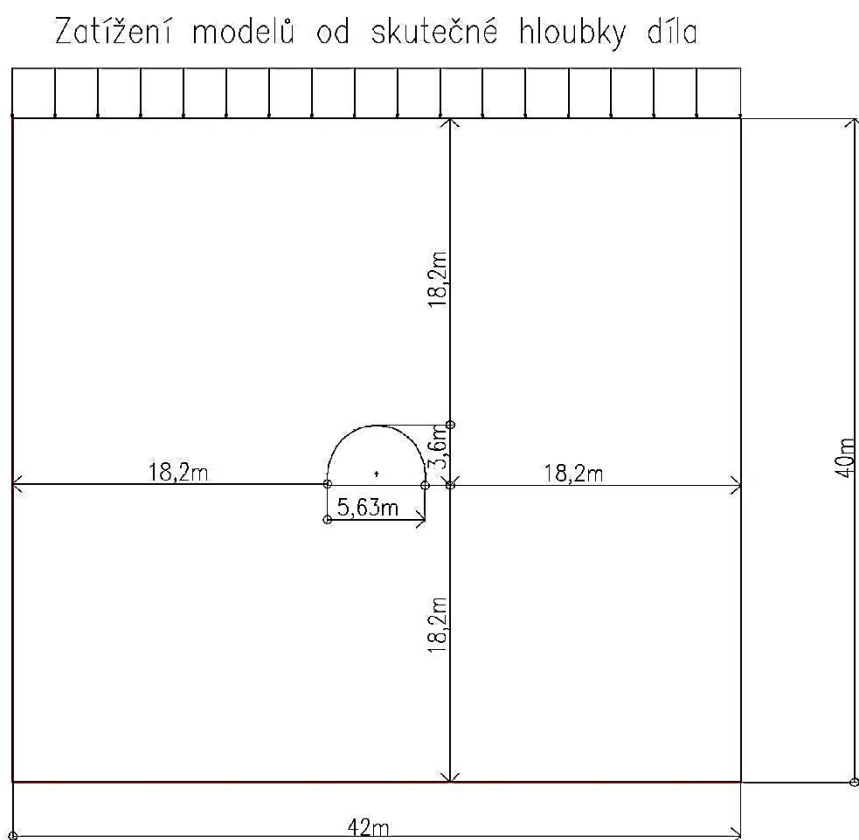
Jako podklad pro numerický model jsme využili důlního díla na závodě dolu ČSM jih, v obci Stonava na Karvinsku. Závod se územně člení do dvou větrných oblastí sever a jih se samostatnými dvojicemi úvodních a výdušných jam. Důlní dílo se nachází v relativní hloubce 852 m, viz geologický profil vrtu. Samotná nadmořská výška ústí dolu činí 260 metrů, tedy absolutní hloubka díla je 1 112 metrů. Přesný místopisný popis díla zní úvodní chodba porubu č. 401 309 třetí kra, čtyřicátá sloj.



Obr. 17: Umístění díla v profilu vrtu

4.3 Geometrické parametry numerického modelu

Geometrie díla, stejně jako plocha a veškeré geometrické parametry vycházejí ze skutečného stavu. Velikost profilu díla je OO-O-16, hrubý profil díla je 22,7 m². Minimální rozměry modelu (horizontální a vertikální) respektují doporučení výrobce programového systému Plaxis a zkušenosti s tímto softwarem. Vzdálenosti hranic modelu a obrysu tunelu by tudíž neměly být menší než šestnásobek poloměru díla, což je podmínka, která je obvyklá i pro obdobné výpočetní systémy pracující na principu MKP. Modelová výška nadloží a podloží je 18,2 metrů a je volena dle zásad a doporučení, taktéž šířka modelu je 18,2 metrů na každou stranu modelu. Celkové rozměry modelu jsou 42 metrů na šířku a 40 metrů na výšku. Hranice modelu je provedena tzv. „tuhou vanou“. Díky nereálné možnosti namodelovat celé nadloží 1 112 metrů nahrazujeme v modelu toto nadloží fiktivním zatížením, respektive fiktivní vrstvou horninového prostředí o mocnosti jeden metr a parametru objemové tíhy vrstvy rovné zatížení danou hloubkou [$q = \gamma \times h$]. Průměrná objemová tíha horniny je 25 kN/m³. Zanedbáváme objemovou tíhu zvětralých hornin při povrchu, které mají minimální vliv na celkové zatížení modelu.



Obr. 18: Základní geometrie modelu

4.4 Materiálové charakteristiky numerického modelu

Mechanicko-fyzikální vlastnosti zatížených hornin pomocí geologického vrtu, uplatněné v jednotlivých geologických vrstvách, vycházejí z mechanických vlastností základních typu hornin v OKR (tab. 1). Neznáme parametry úhlu vnitřního tření a soudržnosti jsme geometricky stanovili pomocí Mohr-Coulombovy teorie. Modul pružnosti hornin nahrazujeme modulem přetvárnosti. Modul přetvárnosti má menší hodnotu než modul pružnosti, proto jsme na straně bezpečí a pro model ho můžeme použít. Hladina podzemní vody nebyla zaznamenána, a proto volíme typ zeminy drained.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI ZÁKLADNÍCH TYPŮ HORNIN OKR							
VRSTVY SEDLOVÉ	DŮL.ČSM	Uhlí	Jílovec	Prachovec	Písk. stř.zr.	Písk.hr.zr.	Slepenec
	Pevnost v tlaku (Mpa)	20	70	80	80	80	80
	Pevnost v tahu (Mpa)	1,7	4	7	6	5	5
	Modul přetvárnosti (GPa)	2	14	21,3	14,2	25,1	24,3
	Poissonovo číslo (-)	0,32	0,25	0,2	0,21	0,28	0,25
	Objemová tíha ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	16	25	25	25	25	25
	Úhel vnitřního tření ($^{\circ}$)	55	63	57	59	62	62
	Soudržnost (kPa)	3160	8300	11810	10980	10025	10025
	Mat. model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
	Mat. typ	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained

Tab. 1: Mechanické parametry hornin zájmové oblasti

Přetížení modelu je rovno $q = \gamma_f$

$$q = \gamma \times h$$

$$q = 25 \times 1112 = 27\,800 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_f = 28\,000 \text{ kN/m}^3 \text{ (zaokrouhleno)}$$

γ průměrná objemová tíha horniny 25 kN/m^3

h hloubka díla [m]

γ_f objemová tíha fiktivní vrstvy přetížení modelu [kN/m^3]

Typy a parametry výztužných konstrukcí (oblouková výztuž, krátké tyčové svorníky, dlouhé lanové kotvy, systém Bullflex) byly stanoveny podle skutečnosti a vlastností zadány podle mechanických parametrů udávaných výrobcem. Při zadávání ocelové obloukové výztuže typu TH 34 budování á 0,5 m musí proběhnout korekce normálové tuhosti EA. Normálovou tuhost musíme dvakrát roznásobit skutečnou šířkou ocelové výztuže, poté máme skutečnou tuhost výztuže na délku jednoho metru díla.

Konstrukce	Materiálový typ	Normálová tuhost EA [kN/m]	Ohybová tuhost EI [kNm^2/m]	Poissonovo číslo ν [-]	Pevnost na mezi kluzu [kPa]
ocelová výztuž TH 34	Elastic	31 0000	1 873,2	0,2	35 0000

Tab. 2 Mechanické parametry ocelové obloukové výztuže

Krátké tyčové svorníky jsou lepeny po celé délce dvousložkovou pryskyřicí, která má modul pružnosti 200 MPa. Při zadávání normálové tuhosti lepených svorníků musíme udělat vážený průměr normálové tuhosti pryskyřice a ocelového, popřípadě sklolaminátového svorníku. Tento vážený průměr zadáváme v typu materiálu Geogrids. Typ svorníků byl volen s ohledem na skutečnost. V boku díla byly instalovány sklolaminátové svorníky vzhledem k možnosti přibírky, ve stropu díla jsou instalovány svorníky ocelové. Počet svorníků nelze jednoduše empiricky určit. V běžné praxi se hustota pohybuje mezi $1 \text{ m}^2/\text{svorník}$ až $3 \text{ m}^2/\text{svorník}$, a to v závislosti na geologických podmínkách (pevnost horniny, stabilita, vrstevnatost atd.) V našem případě je počet svorníku 12 a délka 2,4 metrů.

Konstrukce	Materiálový typ	Normálová tuhost EA [kN/m]	Průměr svorníkové tyče [mm]	Délka svorníkové tyče [m]	Únosnost na mezi pevnosti[kN]
Tyčový svorník APB-1K	Elastic	77 720	21,7	2,4	285

Tab. 3: Mechanické parametry ocelových svorníků



Obr. 19 Tyčový svorník APB-1K

Konstrukce	Materiálový typ	Normálová tuhost EA [kN/m]	Průměr svorníkové tyče [mm]	Délka svorníkové tyče [m]	Únosnost na mezi pevnosti[kN]
Svorník Rockbolt K 60-25	Elastic	90 360	25	2,4	350

Tab. 4: Mechanické parametry sklolaminátových svorníků



Obr. 20: Tyčový sklolaminátový svorník Rockbolt K 60-25

Lanové kotvy navrhujeme ve dvou typech, a to klasické a předpínatelné, kdy budeme porovnávat vliv na stabilitu díla. Aktivaci lanové kotvy provádíme předpínací soupravou a tzv. konzervaci napětí docílíme objímkou se svěrnými klínky a koncovým dílem (spacerem). Kotvy jsou umístěné ve stropu díla přímo na rostlou horninu, nelze v softwaru namodelovat instalaci skrze stropnici. Od lepení kořene nebo celé délky kotvy upouštíme vzhledem k špatné interpretaci výsledku softwarem, i proto jsme nuceni lanové kotvy zadávat pomocí funkce fixed and anchor místo node-to-node anchor, což je běžné. Po zamyšlení jsme zjistili, že fixed and anchor odpovídá skutečnosti, kdy se kotva chová jako

vetknutá do únosné vrstvy a je namáhána pouze tahovými silami. Lanové kotvy přenášejí minimálně smykové síly a je určena především k přenosu tahových sil.

Konstrukce	Materiálový typ	Normálová tuhost EA [kN/m]	Průměr svorníkové tyče [mm]	Délka lanové kotvy [m]	Únosnost na mezi pevnosti[kN]
Lanová kotva IR-4E	Elastic	120 200	27	13	420

Tab. 5: Mechanické parametry lanové kotvy



Obr. 21: Lanová pramencová kotva IR-4E

Konstrukce	Materiálový typ	Normálová tuhost EA [kN/m]	Průměr svorníkové tyče [mm]	Délka svorníkové tyče [m]	Únosnost na mezi pevnosti[kN]
lanová kotva MCA-M	Elastic	78380	21,8	13	545

Tab. 6: Mechanické parametry lanové kotvy předpínatelné



Obr. 22: Lanová pramencová kotva MCA-M předpínatelná

Cementová jednosložková směs práškové konzistence se zrnitostí do 1 mm je určena k vyplňování volných prostor. Pro náš model jsme využili systému Bullflex (výplňové rukávy). Materiál jsme zadávali pomocí funkce Soil&Interfaces.

Konstrukce	Materiálový typ	Materiálový model	Objemová tíha [kN·m ⁻³]	Modul deformační [GPa]	Poissonovo číslo ν [-]
Směs ADIBET-W15	Drained	linear elastic	25	28	0,3

Tab. 7: Mechanické parametry směsi Adibet-W15 systému Bullflex

Pro skutečné namodelování chování svorníků v hornině a jejich úplnou funkci musíme mechanicky zvýšit soudržnost ovlivněných hornin, viz níže uvedený vzorec. Poté v kalkulačním modelu zaměníme typ zeminy – kapitola 4.5.

$$\Delta C = \frac{1 + \sin \varphi}{2 \cdot \cos \varphi} \cdot P \quad C = C_p + \Delta C$$

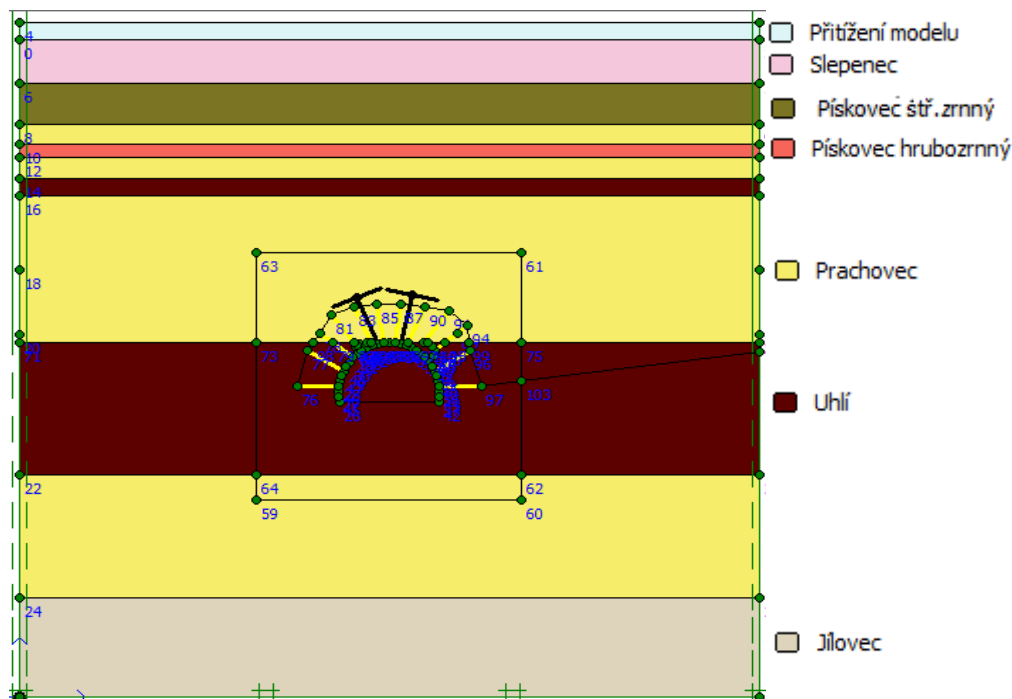
ΔC zvýšená soudržnost od vlivu svorníků [kPa] P únosnost svorníku [kN]

C_p původní soudržnost rostlé horniny [kPa] φ úhel vnitřního tření horniny [°]

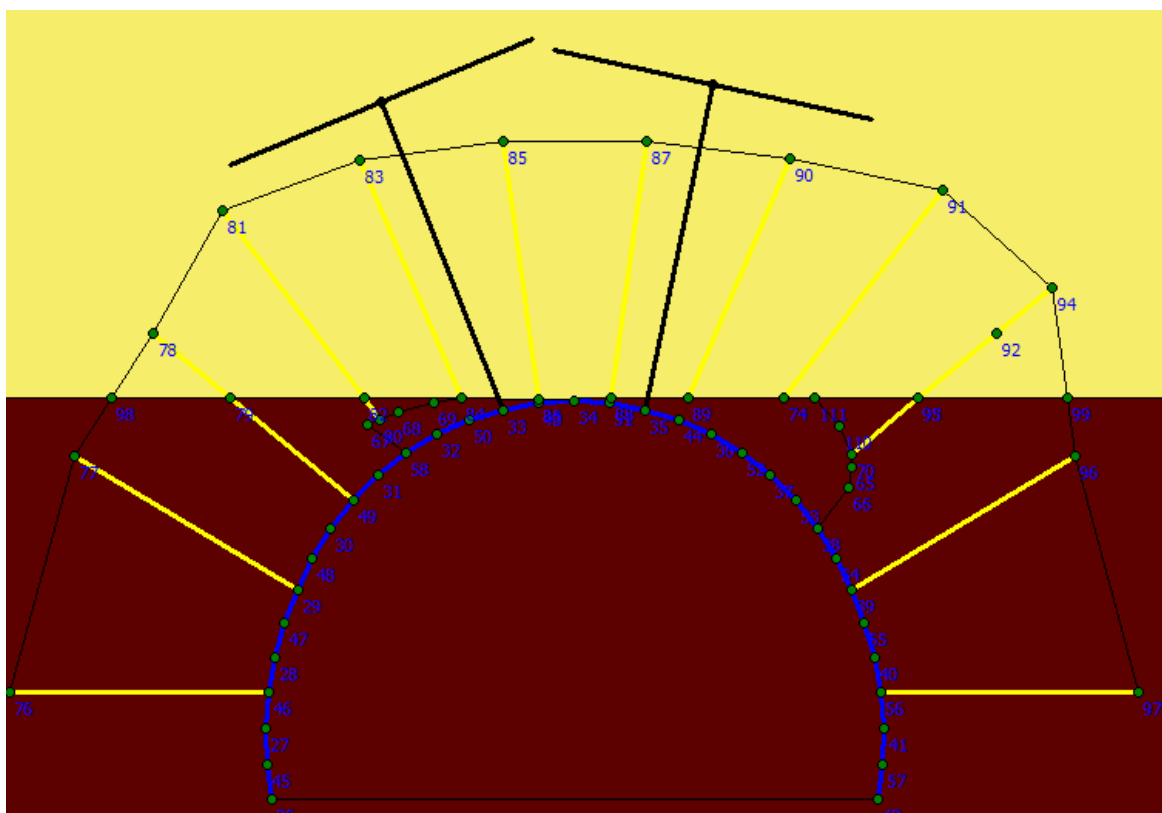
C celková soudržnost původní plus zvýšená [kPa]

Horniny se zvýšenou soudržností		
DŮL ČSM	Uhlí	Prachovec
Pevnost v tlaku (Mpa)	20	80
Pevnost v tahu (Mpa)	1,7	7
Modul přetvárnosti (GPa)	3	21,3
Poissonovo číslo (-)	0,32	0,2
Objemová tíha (kN·m ⁻³)	16	25
Úhel vnitřního tření(°)	55	57
Soudržnost (kPa)	3 603	12 294
Mat.model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Mat. typ	Drained	Drained

Tab. 8: Mechanické parametry hornin se zvýšenou soudržností



Obr. 23: Schéma geometrie modelu důlního díla



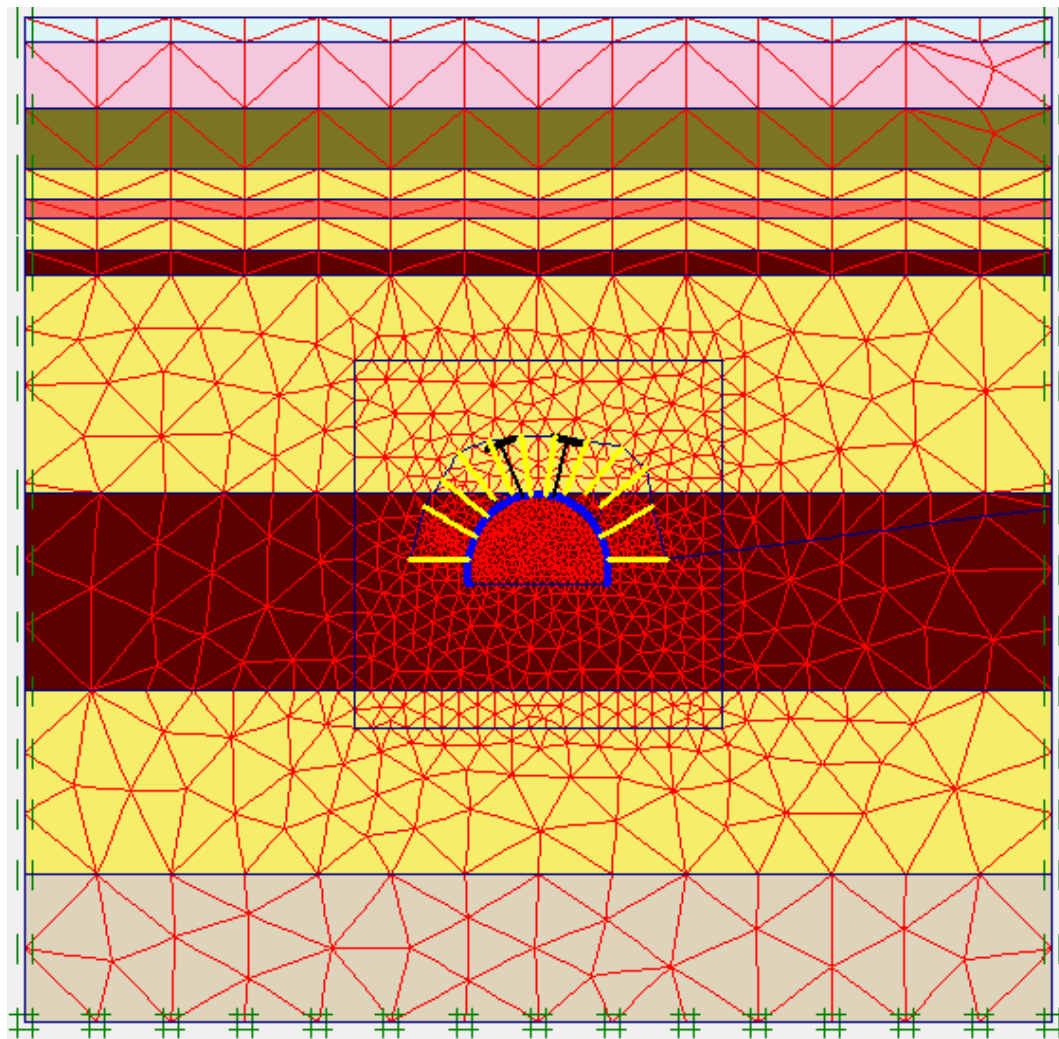
Obr. 24: Detail geometrie díla modelu s nadvýlomy

4.5 Numerický model

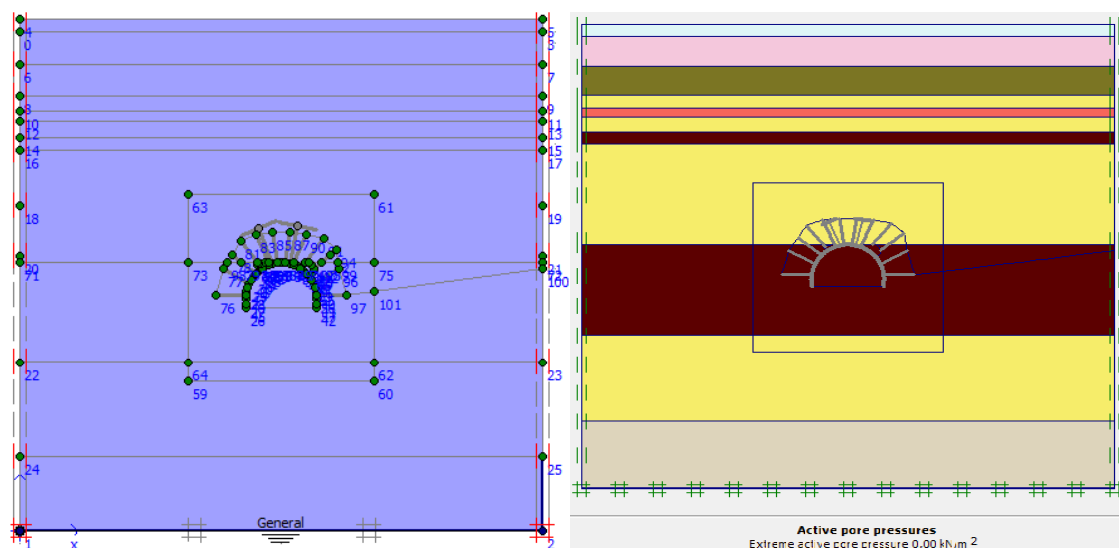
Numerickým modelem simulujeme ražbu v homogenním prostředí, které má vlastnosti horniny z tab. 1. Cílem je získat normálové a momentové síly v obloukové výztuži, stanovit napětí ve výztuži, získat normálové síly v kotvách a svornících a výslednou deformaci díla. Výsledky následně porovnáme s mechanickými vlastnosti udávané výrobcem. Dalšími dílčími body je ověřit vliv vysokého kotvení na stabilitu díla, vliv zakládky nadvýlomu systémem Bullflex a ověření vlivu předpětí v lanových kotvách na stabilitu díla.

V modelu byla nastavena hustota generované sítě (fine cluster), kdy pro oblast kolem díla byla síť zjemněná. Při dalším postupu volíme počáteční podmínky výpočtu pomocí pórového tlaku „phreatic level“ (v našem případě nulový, hladina podzemní vody nebyla zastižena) a nastavíme primární stav napjatosti, definovaný koeficientem bočního tlaku K_0 v jednotlivých vrstvách. Koeficient bočního tlaku K_0 musíme přepočíst a mechanicky

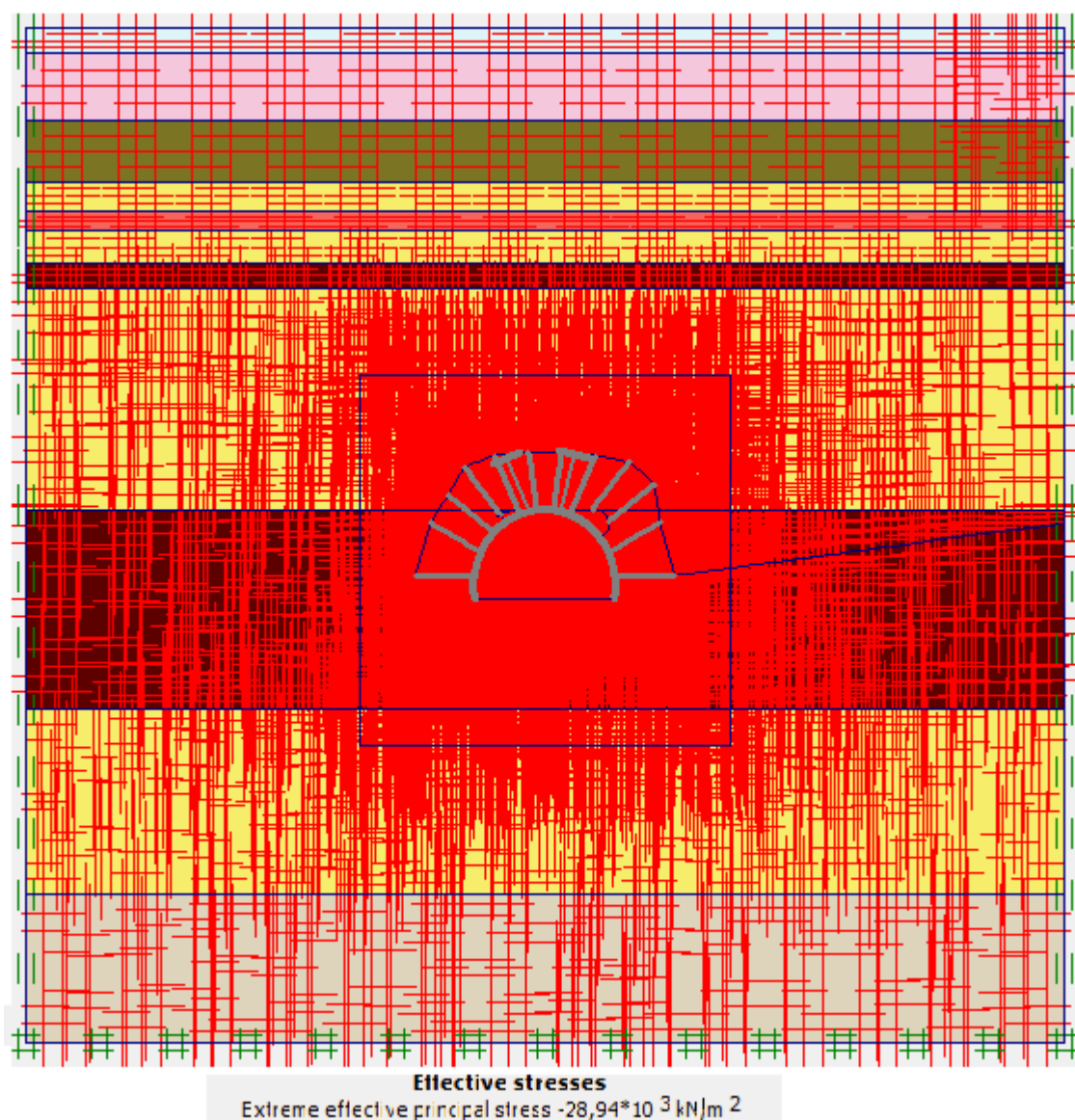
v softwaru zadat $[K_0 = \frac{\mu}{1-\mu}]$, protože standartní nastavení softwaru Plaxis je pro zeminy dle Jákyho vztahu $[K_b = 1-\sin\phi]$.



Obr. 25: Vygenerovaná síť modelu důlního díla



Obr. 26: Hladina podzemní vody a vygenerovaný pórový tlak



Obr. 27: Primární napětí rostlého horninového masivu

Po provedení předcházejících bodů se dostáváme do kalkulačního módu. Automaticky se nám vytvoří první neboli iniciační fáze (stav bez antropogenní činnosti). Další fáze (vyražení díla) vychází z iniciační fáze. Zbývající fáze vyztužení díla vychází z fáze vyražení díla, pouze k eliminaci vzniklých posunů z fáze jedna použijeme příkaz „reset displacements to zero“. Při vyražení díla nám vznikne nadvýlom, který ve fázi vyztužování zaplníme rukávy systému Bullflex. Před instalací výztužných prvků proběhne 20 % deformací, zbývající deformace proběhnou po instalaci výztužných prvků. Pro úspěšné dosažení výsledku využíváme mód „stagede construction“, který umožňuje aktivaci a deaktivaci jednotlivých částí konstrukce či hornin v různých stupních ražení díla. Umožňuje nám to aktivaci výztuže, svorníků, kotev, systému Bullflex a také „zlepšení“

parametrů (soudržnosti) dotčené oblasti od svorníkové výztuže viz Tab. 8. Celý kalkulační mód provádíme teorií malých deformací, kdy předpokládáme nedeformovanou síť konečných prvků.

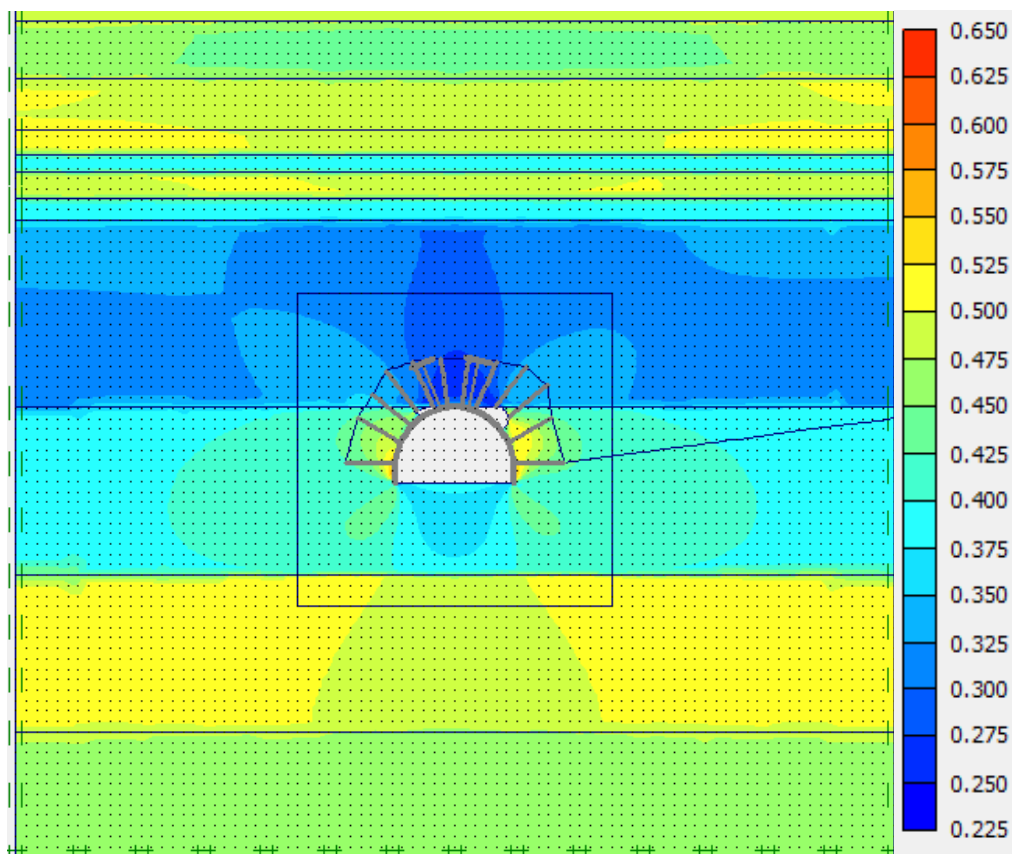
4.6 Zhodnocení výsledků modelu

Zaměříme se na zhodnocení a porovnání výsledků zájmových částí již výše uvedených. Pro porovnání a znázornění vlivu jednotlivých výztužných prvků využijeme tabulek s výsledným napětím a deformací ve výztuži. Výsledky jsou porovnány v různých možnostech vyztužení díla (oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvami IR-4E, oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvami MCA-M, oblouková výztuž s krátkými svorníky a oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvami bez základky).

Při první fázi výpočtu necháváme proběhnout 20 % původního radiálního napětí (nevztužený model). Jedná se o princip rozdělení původního napětí působícího kolmo na obrys díla, tudíž zmíněné radiální napětí. Původní napětí je sníženo o součin ΣM_{stage} (redukční součinitel v programu Plaxis). V následující fázi, která se vyznačuje zabudováním výztuže, působí radiální napětí na model vyztuženého díla o velikosti 80 % původního napětí. Systém Plaxis ovšem sám automaticky ΣM_{stage} dopočítává. Po vyrazení vidíme vznik nežadoucích oblastí, ve kterých dochází k čerpání smykové pevnosti, ovšem k porušení smykem nedochází.

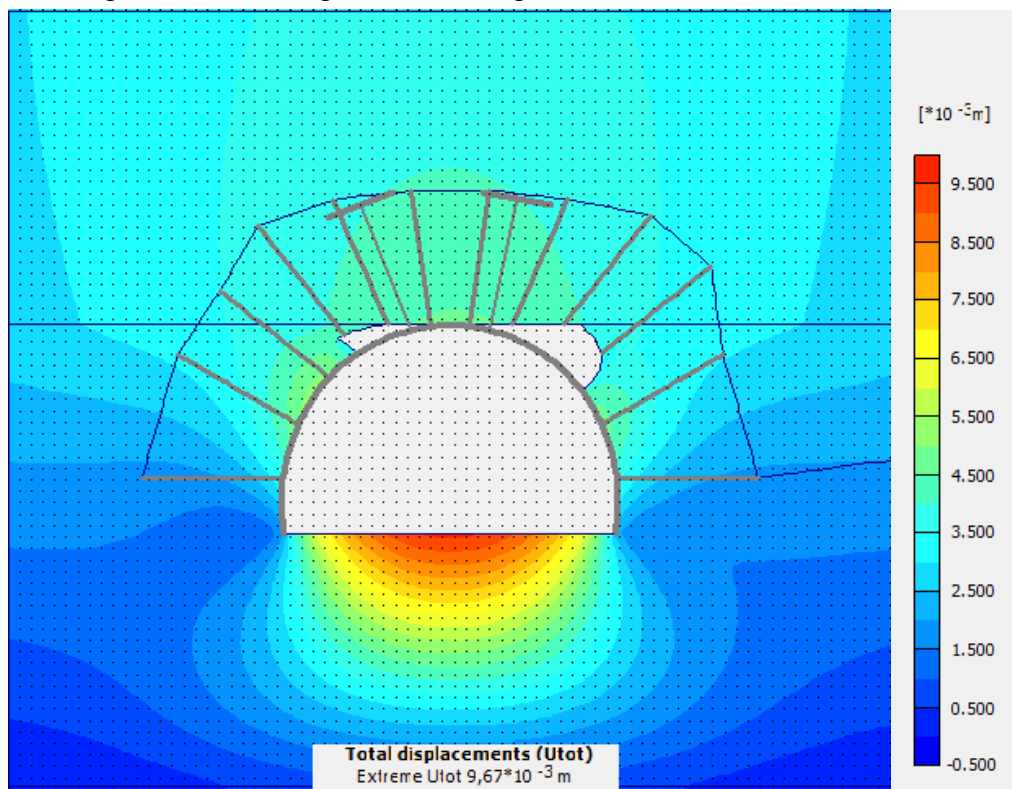
Název	Návaznost	ΣM_{stage}
Vyrazení díla	Initial phase	0,2
Instalace svorníků, TH výztuže a lanových kotev	Vyrazení díla	1
Instalace svorníků, TH výztuže a lanových kotev s předpětím	Vyrazení díla	1
Instalace svorníků a TH výztuže	Vyrazení díla	1
Instalace TH výztuže	Vyrazení díla	1
Instalace svorníků, TH výztuže a lanových kotev bez základky nadvylomu	Vyrazení díla	1

Tab. 9: Přehled fází klakulačního módu



Obr. 28: Rozsah čerpání smykové pevnosti ve fázi vyražení díla

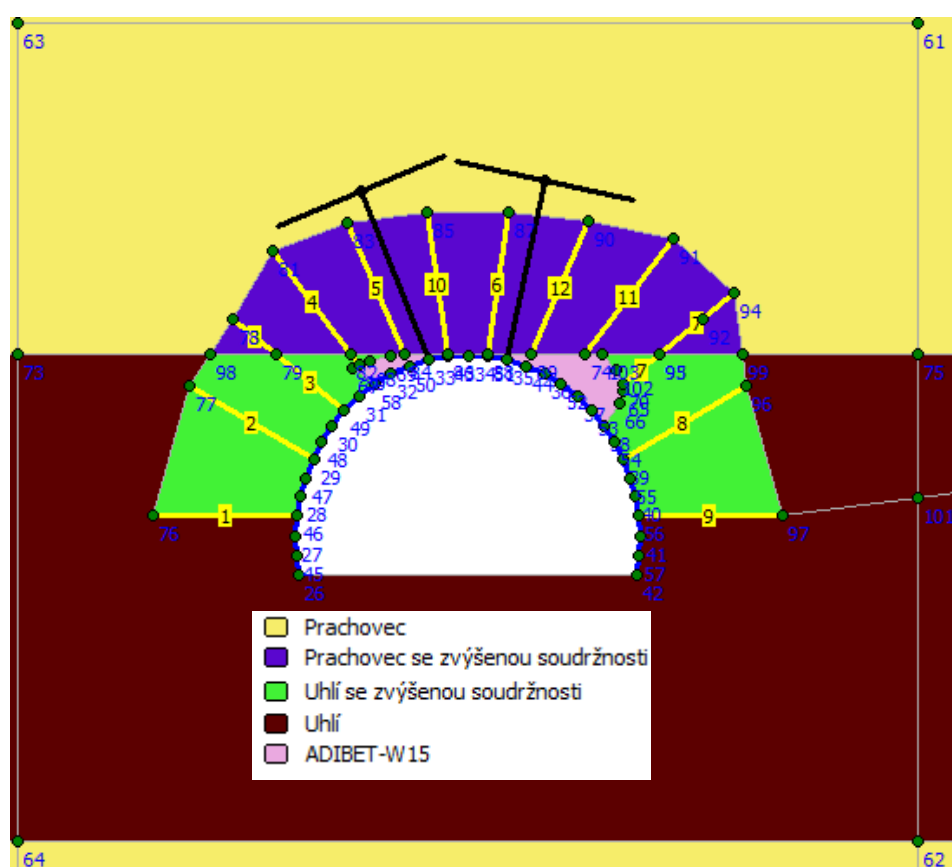
Během první fáze došlo při uvolnění napětí k deformaci horninového masívu o cca 1 cm.



Obr. 29: Deformace horninového masívu

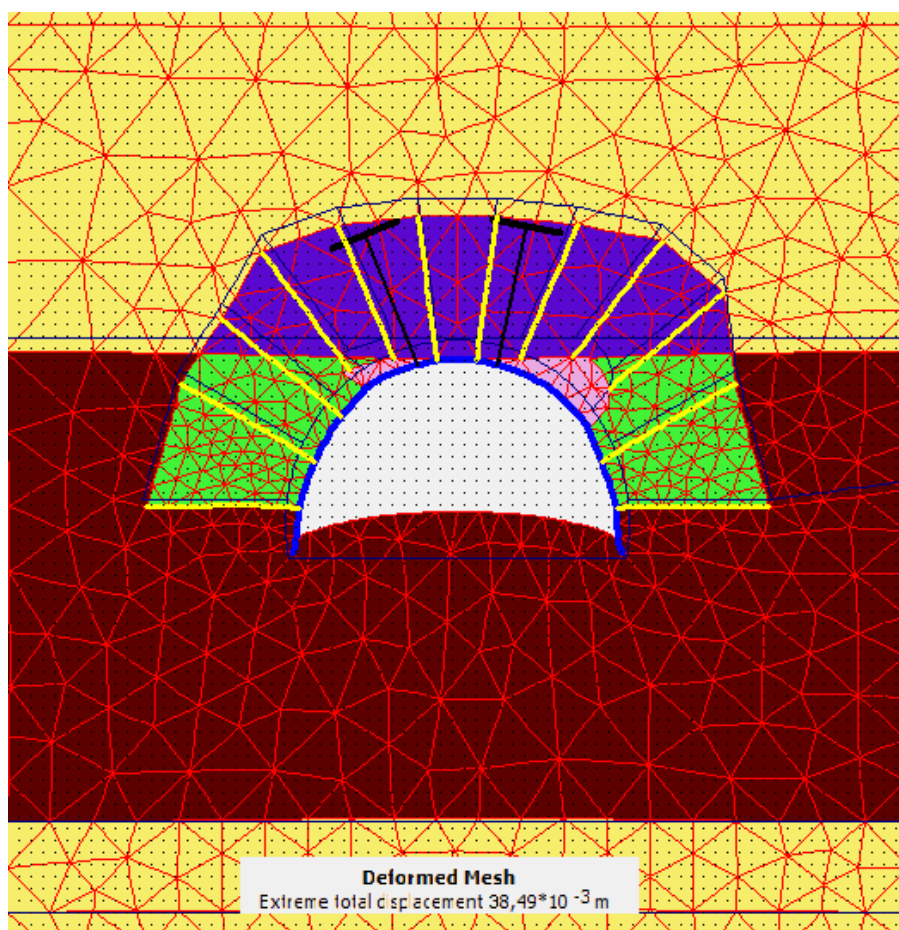
4.6.1 Instalace svorníků, TH výztuže a lanových kotev

Ve druhé fázi výpočtu aktivujeme výztužné prvky pomocí záložky Define. Při aktivaci svorníků musíme mechanicky zaměnit horniny ovlivněné svorníky, viz Tab. 8. Zaplnění nadvýmů provedeme také mechanicky horninou o parametrech cementové směsi. Ke správnému výpočtu vnitřních sil ve výztuži je zapotřebí předešlé posuny, které proběhly ve fázi vyrazení díla vynulovat. Následně ve fázi výpočtu proběhnou veškerá původní zbývající napětí.



Obr. 30: Aktivace výztužných prvků a hornin s mechanicky zvýšenou soudržností

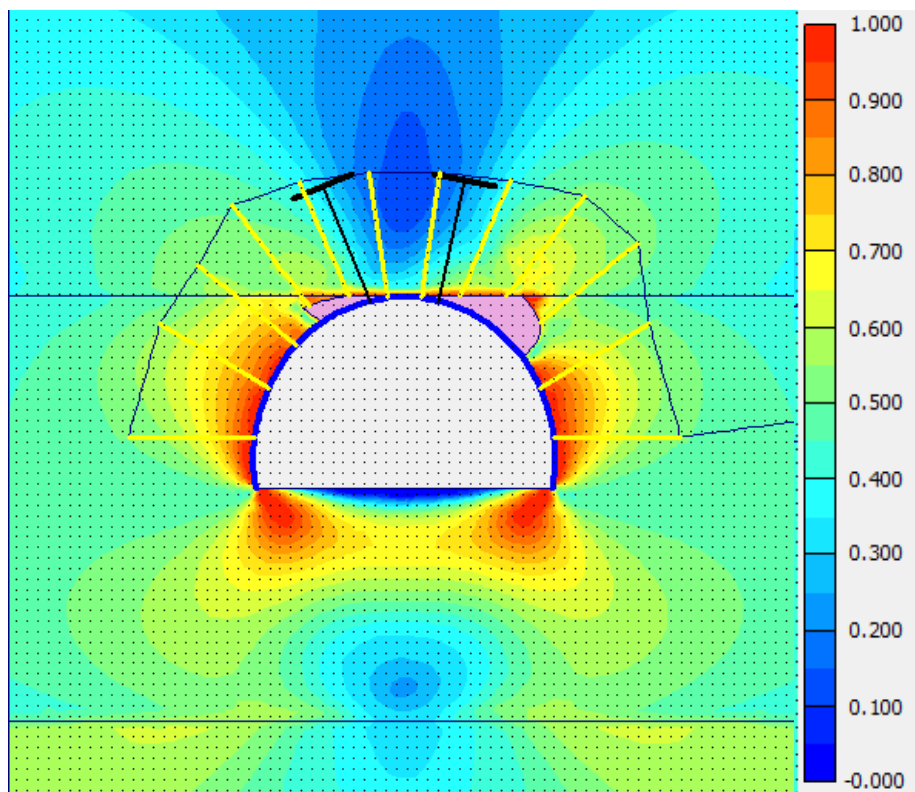
Prvním výstupem druhé fáze výpočtu je deformace sítě, která promítá deformaci výztuže a bubření počvy do vyraženého díla. Maximální deformace horninového prostředí nastává ve zmíněné počvě a má hodnotu cca čtyř centimetrů.



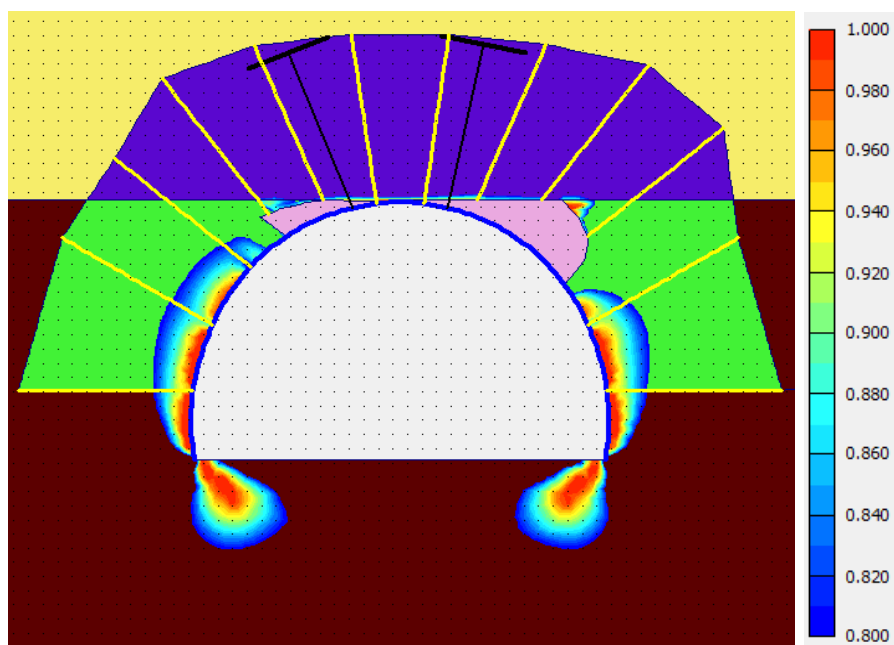
Obr. 31: Deformace sítě

Při vyražení díla a proběhnutí veškerého napětí pozorujeme rozšiřování nežádoucích oblastí, ve kterých dochází k vyčerpání smykové pevnosti. Tyto nejvíce porušené oblasti (obr. 32 červená oblast), jsou totožné s oblastí vzniku plastických bodů. Plastické body vznikají tehdy, pokud se Mohrova kružnice dotýká Mohrovy obálky. Plastické body vznikají jako tahové trhliny a tlakové porušení. V softwaru Plaxis jsou červeně znázorněny tlakové plastické body a bílou barvou tahové plastické body. V těchto oblastech horninový masív přestává plnit svou funkci. Nastává zmíněné porušení a deformace, která zapříčiní nerovnoměrné zatížení na ocelovou obloukovou výztuž díla. Pro určení stupně čerpání smykové pevnosti musíme znát poměr skutečného poloměru Mohrovy kružnice v daném bodě a poloměr kružnice dotýkající se Mohrovy obálky. $\tau_{rel} = \frac{\tau'}{\tau_{max}}$

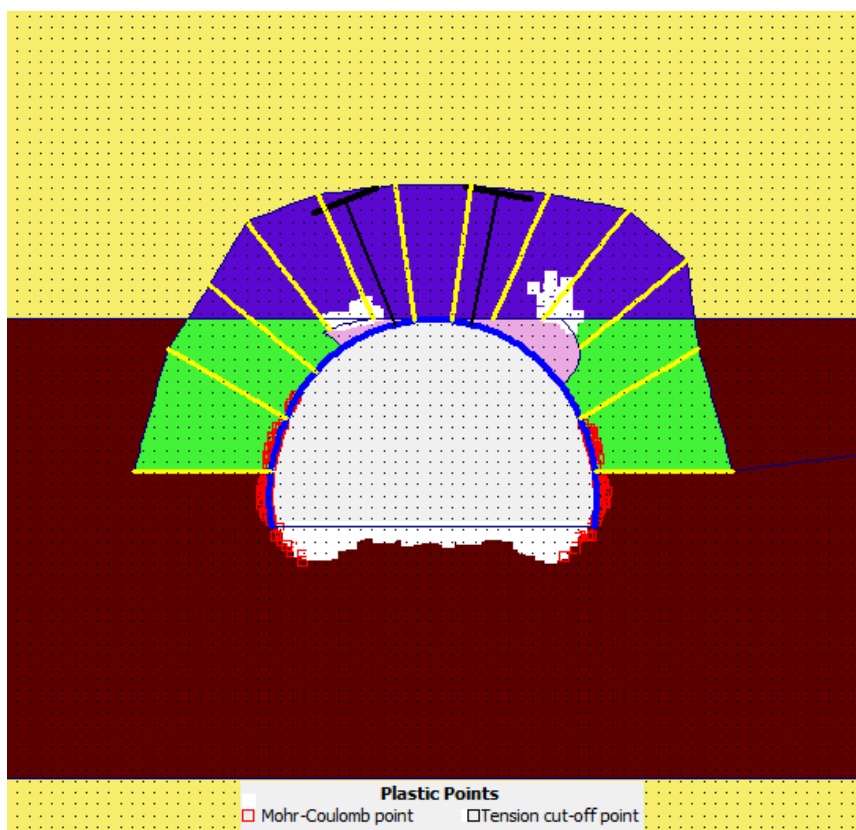
Z numerického modelu vidíme, že k nejvýraznějšímu ovlivnění dochází ve styku obloukové výztuže a počvy. Pomocí měřítka barevného spektra jsme relativně schopni vyjádřit čerpání smykové pevnosti ve všech místech modelu v závislosti na zvoleném rozšíření. Úpravou barevného spektra zjistíme, že k vysoké úrovni čerpání pevnosti 0,8–1 dochází kolem nadvýlomů a zejména ve zmíněné oblasti styku obloukové výztuže a počvy.



Obr. 32: Čerpání smykové pevnosti

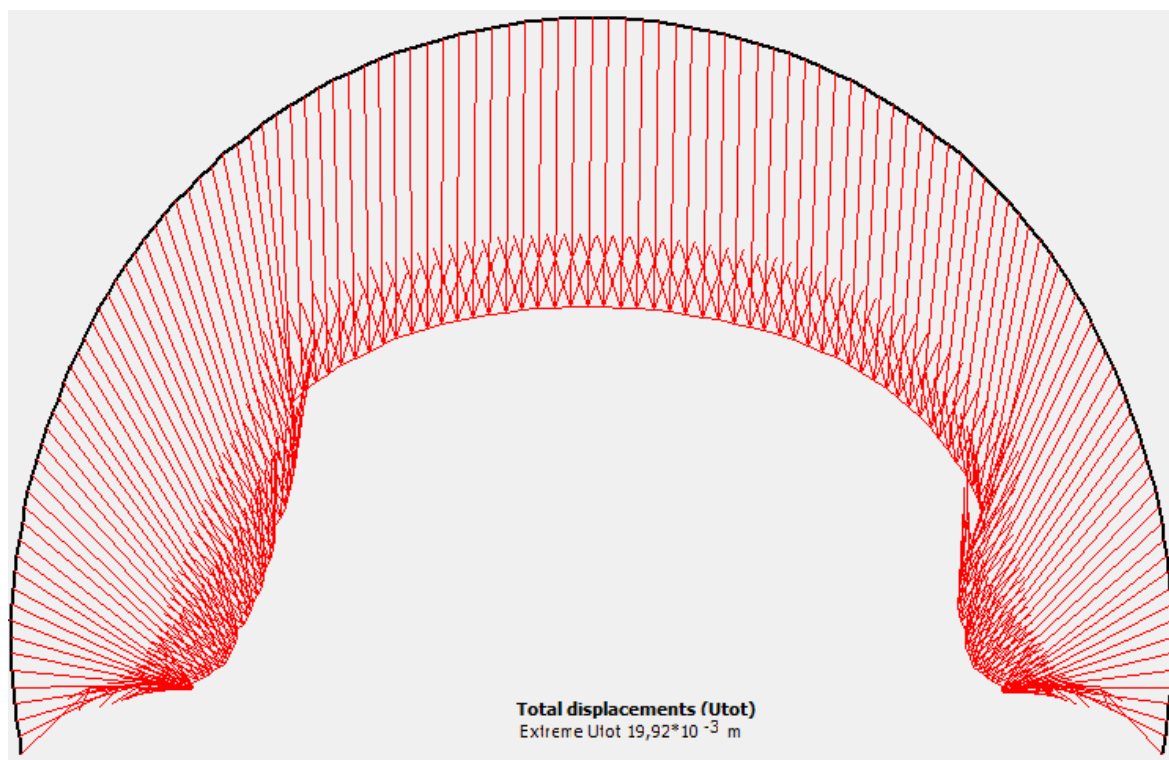


Obr. 33: Čerpání smykové pevnosti po úpravě barevného spektra

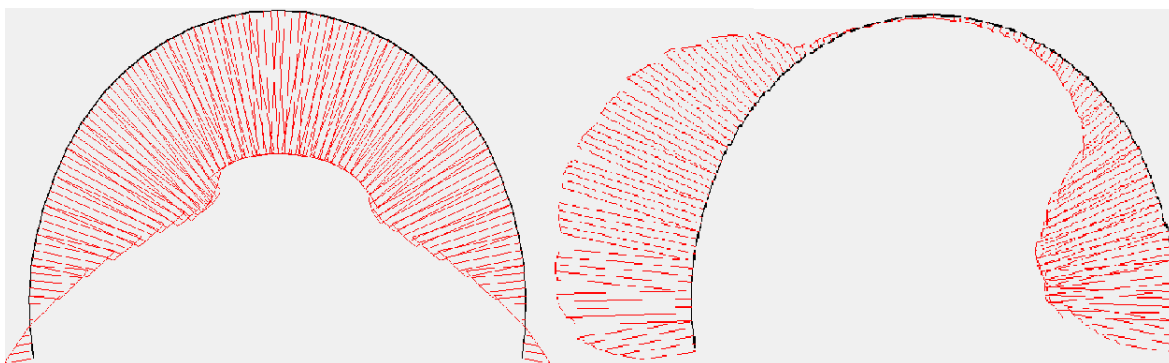


Obr. 34: Vznik plastických bodů

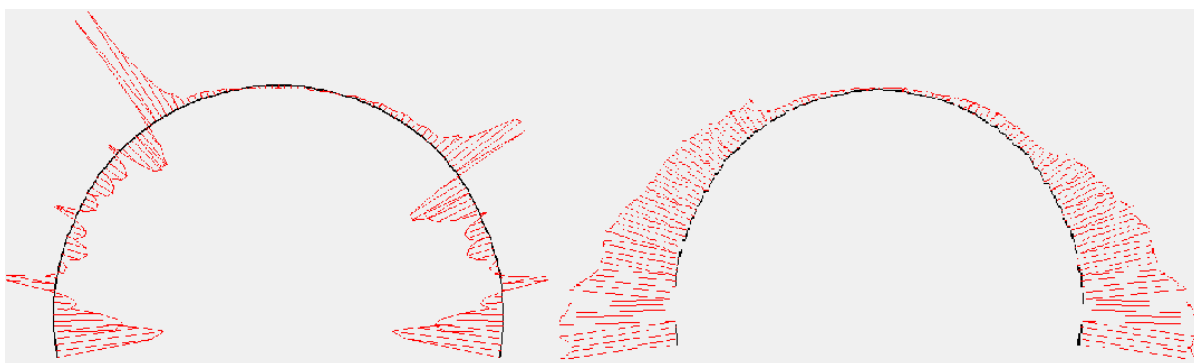
Posledním zájmovým výstupem jsou vnitřní síly a deformace obloukové výztuže, krátkých svorníků a lanových kotev.



Obr. 35: Totální posuny obloukové výztuže



Obr. 36: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže

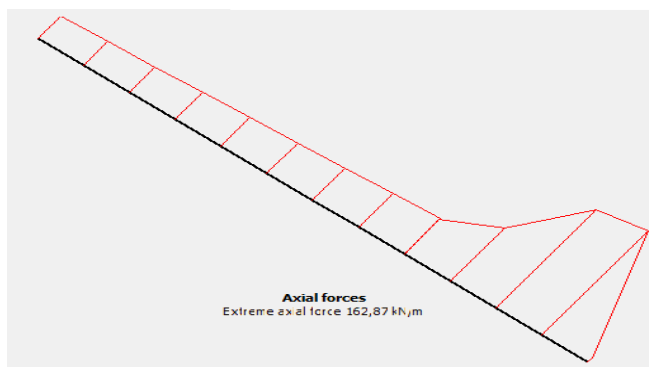


Obr. 37: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly

Na základě těchto získaných normálových sil a ohybového momentu děláme posudek napětí obloukové výztuže podle vztahu $\sigma_i = \frac{N_i}{A} \pm \frac{M_i}{W} < R_e$. Vyhodnocení výsledku obloukové výztuže s krátkými svorníky a lanovými kotvy IR-4E, viz příloha 1. Z výsledku je patrné, že dochází k překročení meze kluzu ocelové obloukové výztuže a tím je vytvořen řetězec s plastickými klouby. Tyto extrémně namáhané oblasti výztuže vyplývají z oblasti vzniku plastických bodů okolních hornin a z důvodu nerovnoměrného přetížení výztuže. V oblasti počvy dokonce dochází ve výztuži k překročení meze pevnosti. V budoucnu se dá navíc očekávat prudký nárůst deformací a bubření počvy od přídatných napětí postupující porubní fronty, kdy nastane křehký lom ve výztuži.

Vyhodnocení lepených svorníků a lanových kotev probíhá obdobně jako u ocelové výztuže. Pomocí softwaru získáme normálové síly, které pak porovnáváme s tahovou pevností kotvy dle výrobce. Opět dochází k tomu, že v oblastech vzniku plastických bodů nastává enormní zatížení krátkých tyčových svorníků. Krátké svorníky nedokáží natolik

zvýšit smykovou pevnost, aby nedošlo ke vzniku plastických bodů. Maximální síla v kotvě při počvě díla je 536 kN, naproti tomu samotná únosnost této kotvy je 350 kN. Podle výsledku je jasné, že dojde k přetržení svorníků, ovšem podle zkušeností z praxe k tomu nedochází. Ve skutečnosti nastává tzv. jev, kterému říkáme „obtékání“ kotvy. Horninový masív svorník doslova obteče. Tento jev nastává ze dvou důvodů. První je únosnost samotné podložky, která je cca poloviční, a druhý ten, že svorník není mnohdy dokonale zalepen a tím není úplně zajištěn styk hornina svorník. To by mělo mít za následek snížení předpokládaného zatížení svorníku díky svázání okolní horniny s ním a snížení tak zatížení hlavy (podložka a matka). Tento fakt (tzv. zalepení) není často splněn, zejména v bocích, protože boky bývají rozpraskané a kotevní tmel uniká do prasklin. V softwaru, který je založený na metodě konečných prvků, nedokážeme tuto skutečnost namodelovat. Důležitým poznatkem svorníkové výztuže je nárůst normálových sil při instalaci v blízkosti nadvýlomu.



Obr. 38 Nárůst normálové síly od vlivu nadvýlomu

Krátké tyčové svorníky				
Svorník číslo	Síla [kN]	Typ svorníku	Únosnost na mezi pevnosti (MPa)	Posudek $R_s < R_e$
1	536,26	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
2	552,39	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
3	571	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
4	495,08	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
5	174,44	APB - 1K	285	vyhoví
6	75,74	APB - 1K	285	vyhoví
7	76,23	APB - 1K	285	vyhoví
8	72,2	APB - 1K	285	vyhoví
9	162,87	Rockbolt K 60-25	350	vyhoví
10	490,81	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
11	568,95	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
12	541,43	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví

Tab. 10: Vyhodnocení krátkých tyčových svorníků

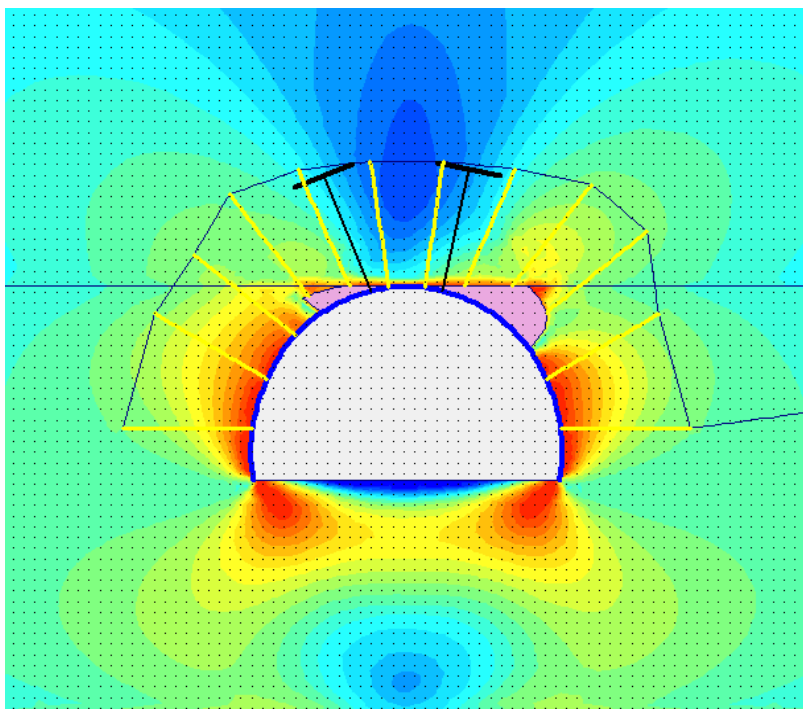
Výsledné síly v lanových kotvách nepřekročily mez pevnosti zvoleného typu kotvy. Dle našeho zvoleného typu kovy je únosnost 420 kN, přitom síla v kotvě má hodnotu cca 150 kN. Z ekonomického hlediska může být kotva volena jiného typu o menší únosnosti, a však nesmíme zapomenout na možnost reologie okolního horninového masívu, různých přídatných napětí (předporubní tlaky, důlních ořesů) atd. Poté je na zvážení volba méně únosné kotvy.

Lanové pramencové kotvy				
Kotva číslo	Síla [kN]	Typ kotvy	Únosnost na mezi pevnosti (MPa)	Posudek $R_k < R_e$
1	142,3	IR-4E	420	vyhoví
2	150,7	IR-4E	420	vyhoví

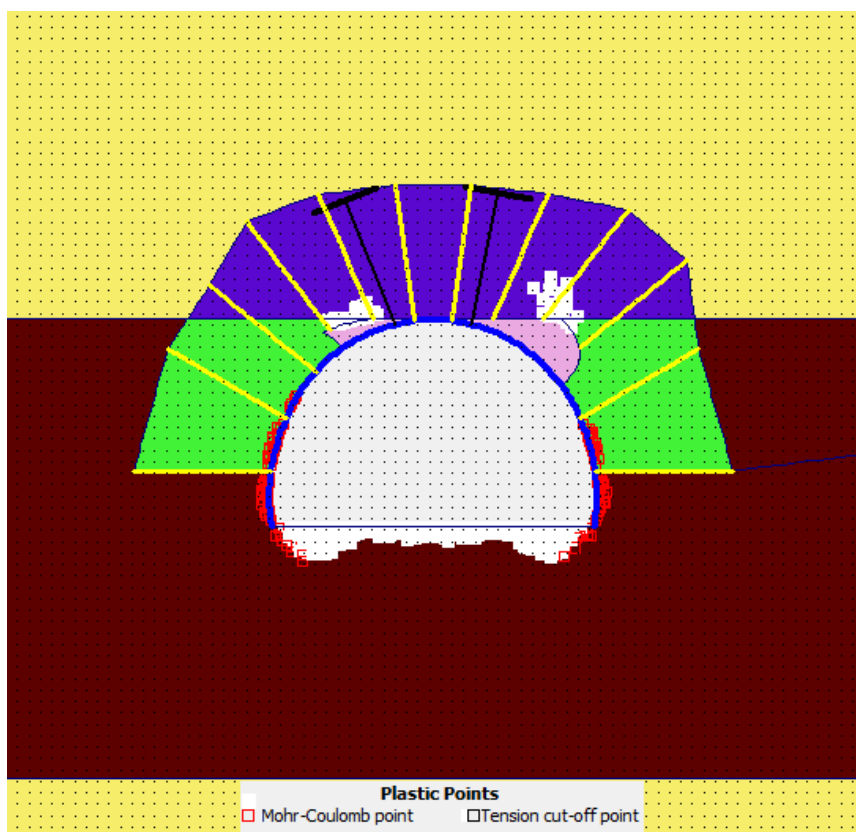
Tab. 11: Vyhodnocení lanových pramencových kotev

4.6.2 Instalace svorníků, TH výztuže a lanových kotev s předpětím

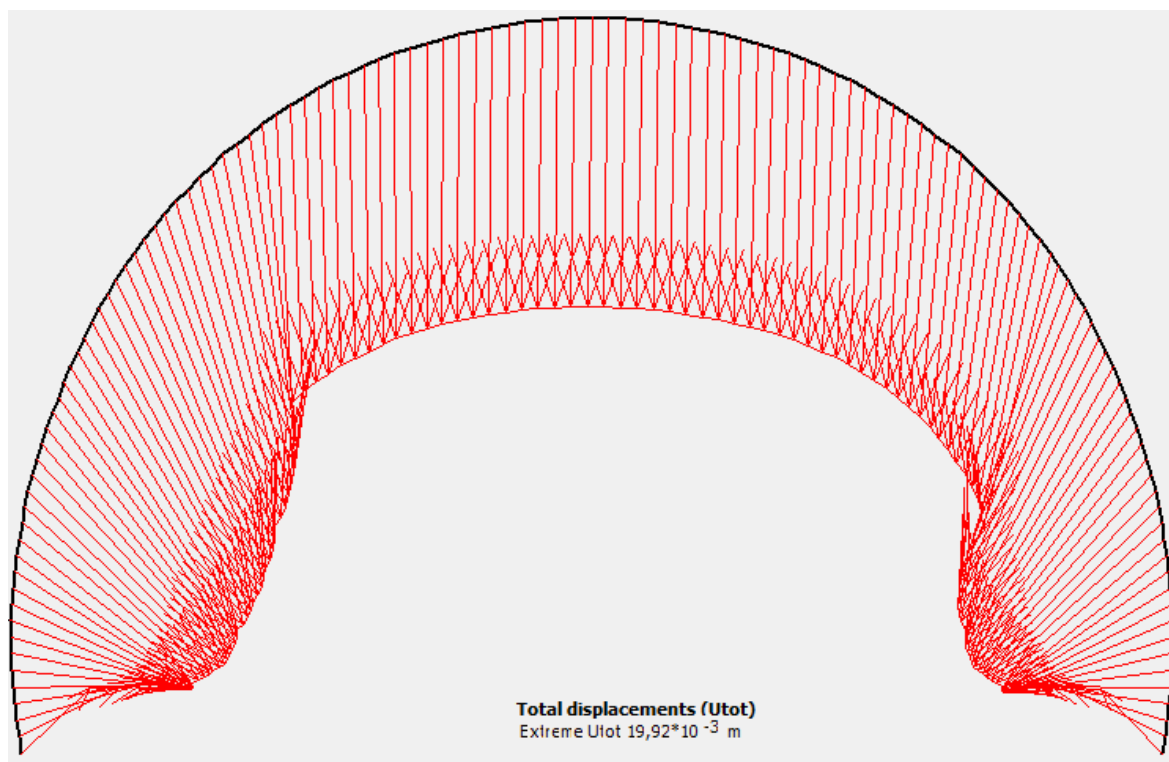
Fáze výpočtu pomocí níž chceme ověřit vliv předpětí na stabilitu důlního díla. Opět vycházíme z první fáze vyražení díla. Jedinou změnou v této fázi je předpětí lanové kotvy. V kalkulačním módu vstoupíme pomocí funkce define k aktivaci prvků a u lanové kotvy zadáváme prestres force (předpětí). Předpětí má velikost 150 kN.



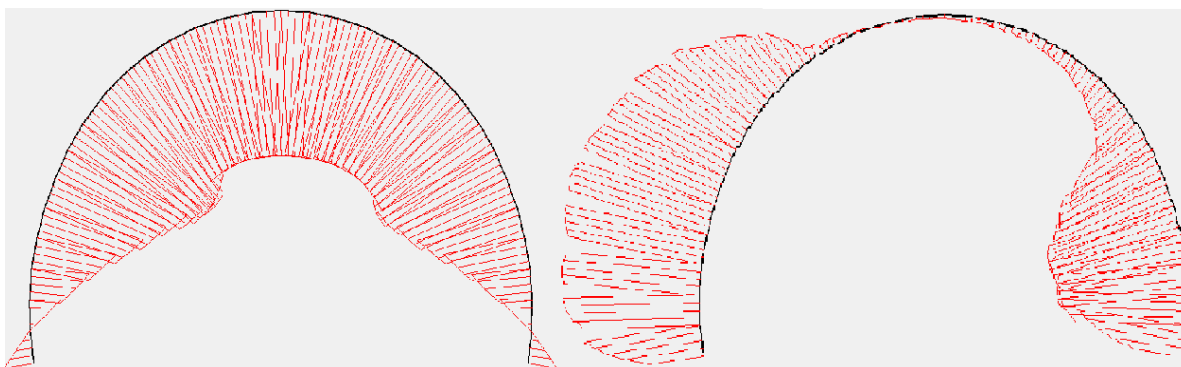
Obr. 39: Čerpání smykové pevnosti



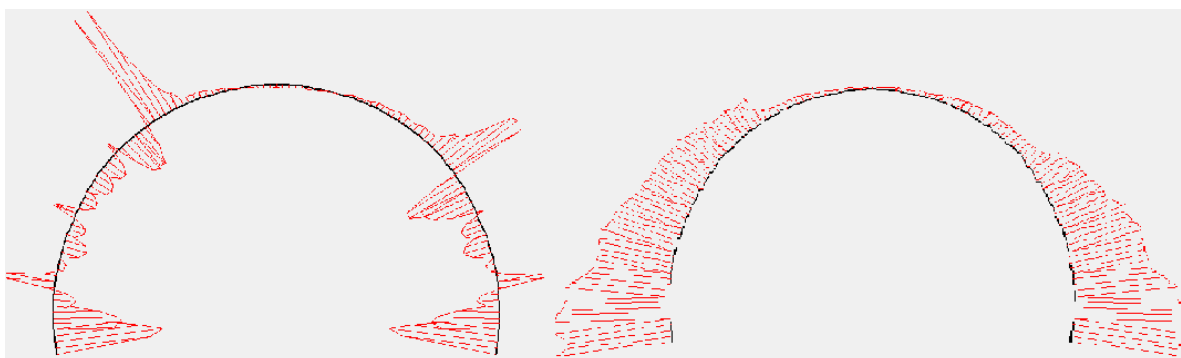
Obr. 40: Vznik plastických bodů



Obr. 41: Totální posuny obloukové výztuže



Obr. 42: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže



Obr. 43: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly

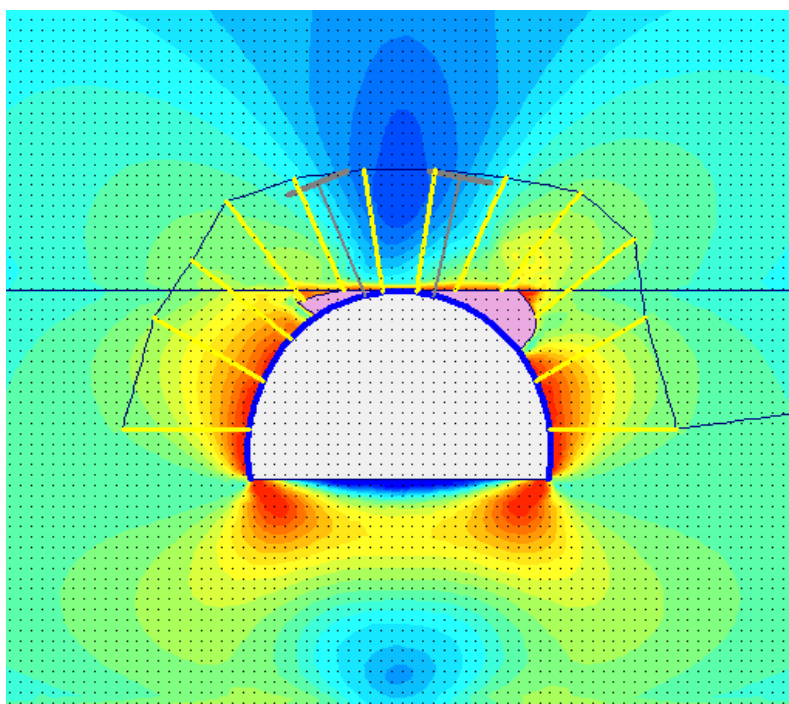
Už z výstupu softwaru obr. 39–43 je evidentní, že proti první fázi nedochází vlivem předpětí kotev k enormnímu nárůstu stability důlního díla. Oblast vzniku plastických bodů a oblast čerpání smykového napětí je totožná. Taktéž vliv na posuny výztuže jsou minimální. Síly v krátkých tyčových svornících se liší v řádech desetin. Posudek napětí výztuže se téměř shoduje s posudkem napětí výztuže s kotvami bez předpětí, viz příloha č. 2.

Lanové pramencové kotvy (předepnuté)				
Kotva číslo	Síla [kN]	Typ kotvy	Únosnost na mezi pevnosti (MPa)	Posudek $R_s < R_e$
1	150	MCA-M	545	vyhoví
2	150	MCA-M	545	vyhoví

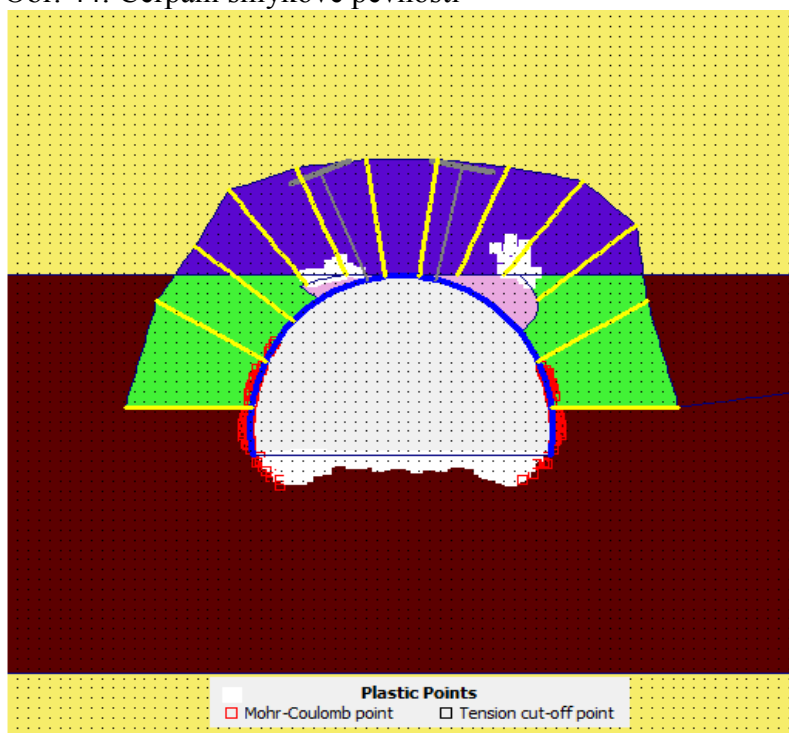
Tab. 12: Vyhodnocení lanových pramencových kotev předepnutých

4.6.3 Instalace svorníků, TH výztuže bez lanových kotev

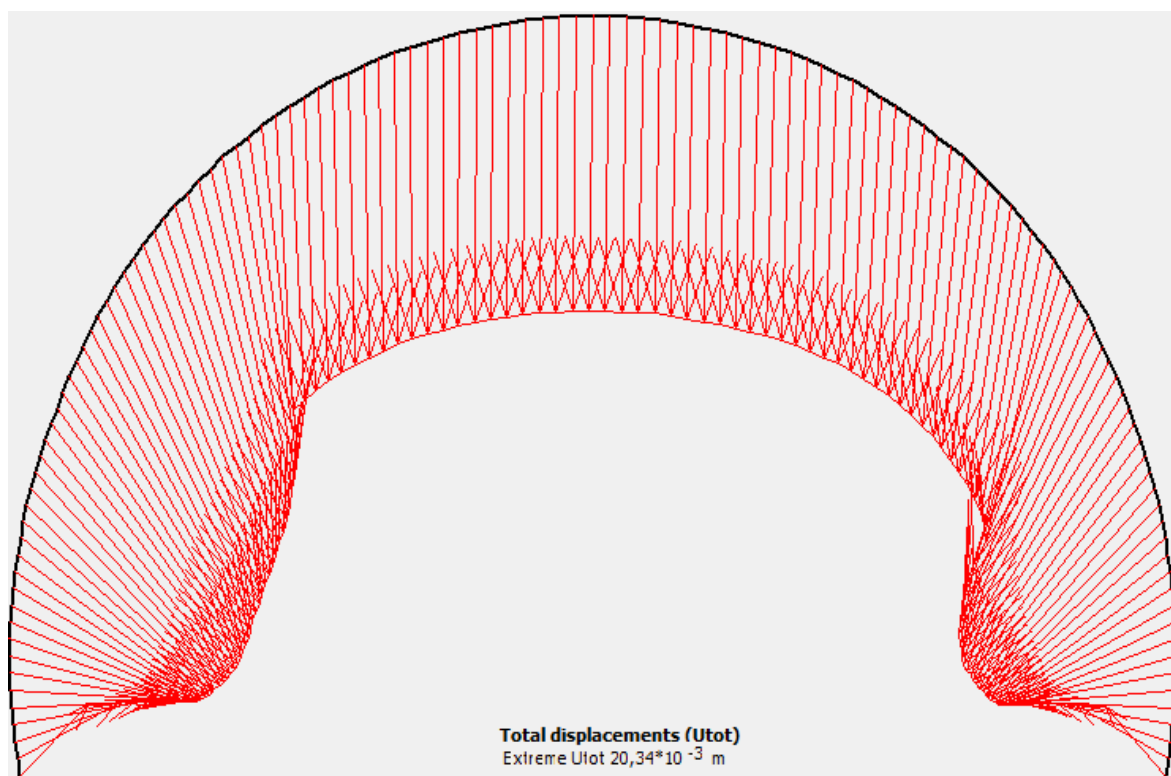
K samotnému ověření vlivu vysokého kotvení na stabilitu důlního díla navrhujeme třetí model bez lanových kotev. Tuto variantu pak porovnáme s variantou při využití lanových kotev. Model se nijak neliší od prvního modelu, pouze při aktivaci výztužných prvků neaktivujeme vysoké kotvení.



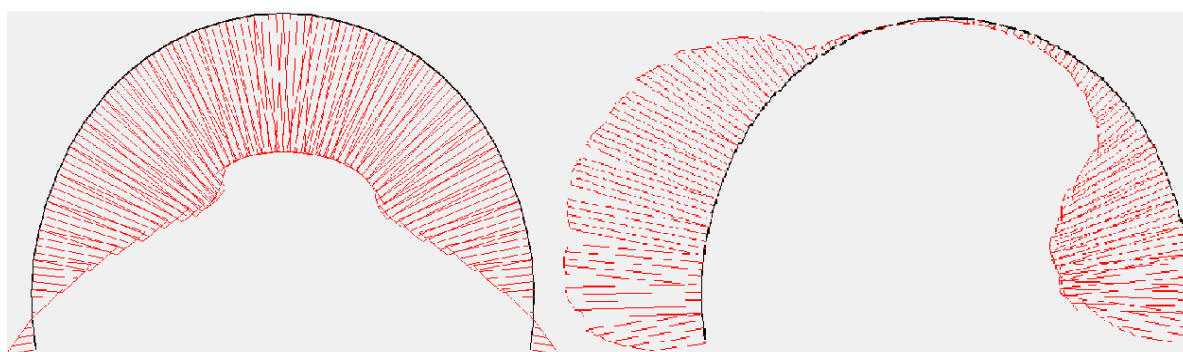
Obr. 44: Čerpání smykové pevnosti



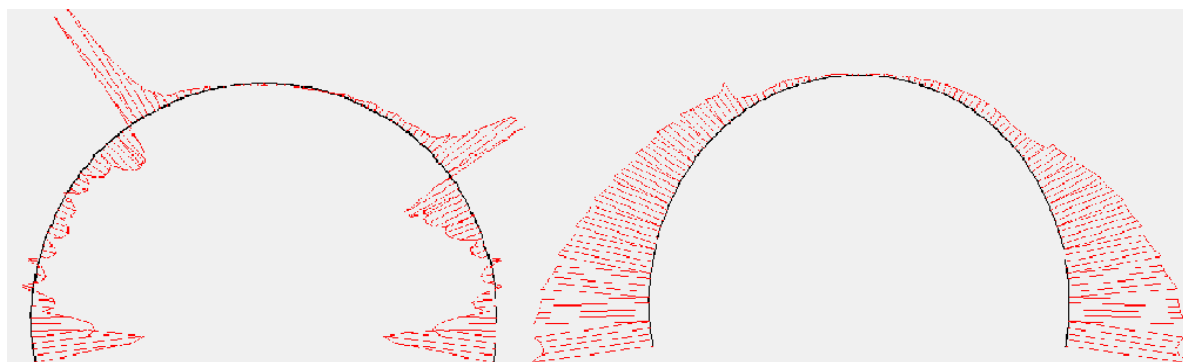
Obr. 45: Vznik plastických bodů



Obr. 46: Totální posuny obloukové výztuže



Obr. 47: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže

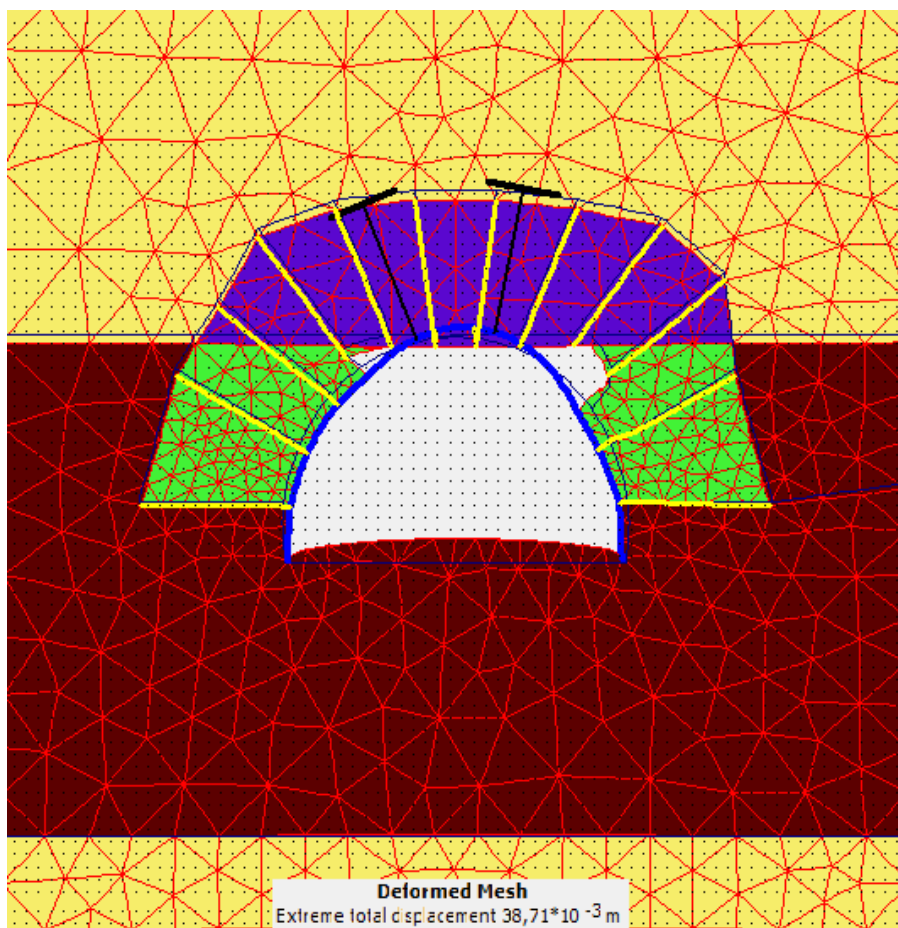


Obr. 48: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly

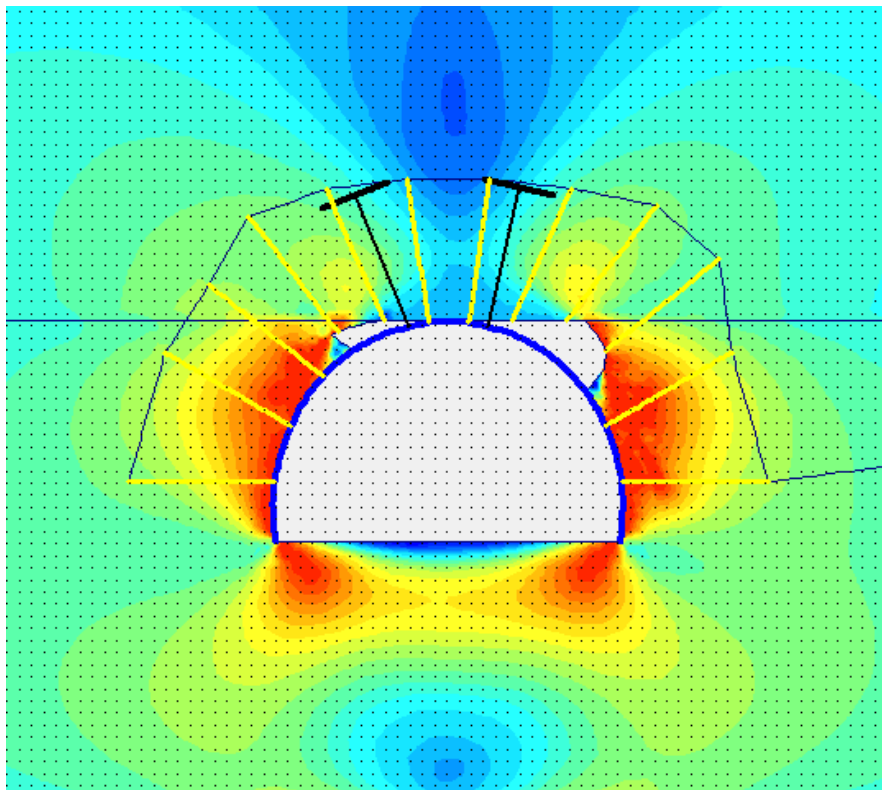
Výstupní parametry této fáze jsou totožné s předcházejícími fázemi. Napětí ve výztuži překračuje mez kluzu i pevnosti ocelové obloukové výztuže, viz příloha č. 3. Deformace výztuže se taktéž takřka neprojeví, viz tab. 15. Navýšení normálových sil v krátkých svornících je oproti předcházejícím fázím výpočtů zanedbatelné.

4.6.4 Instalace svorníků, TH výztuže a lanových kotev bez základky nadvýlomů

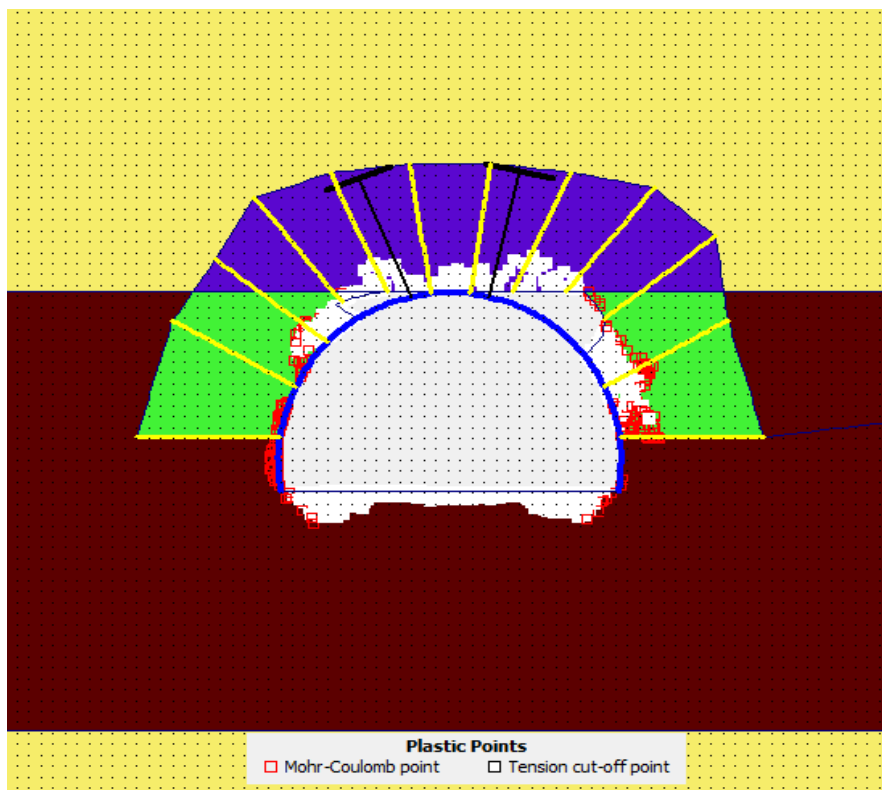
Poslední variantou modelu je dílo, u kterého nedojde k základce nadvýlomů, a tím dochází k nedokonalé funkci obloukové výztuže a lanových kotev.



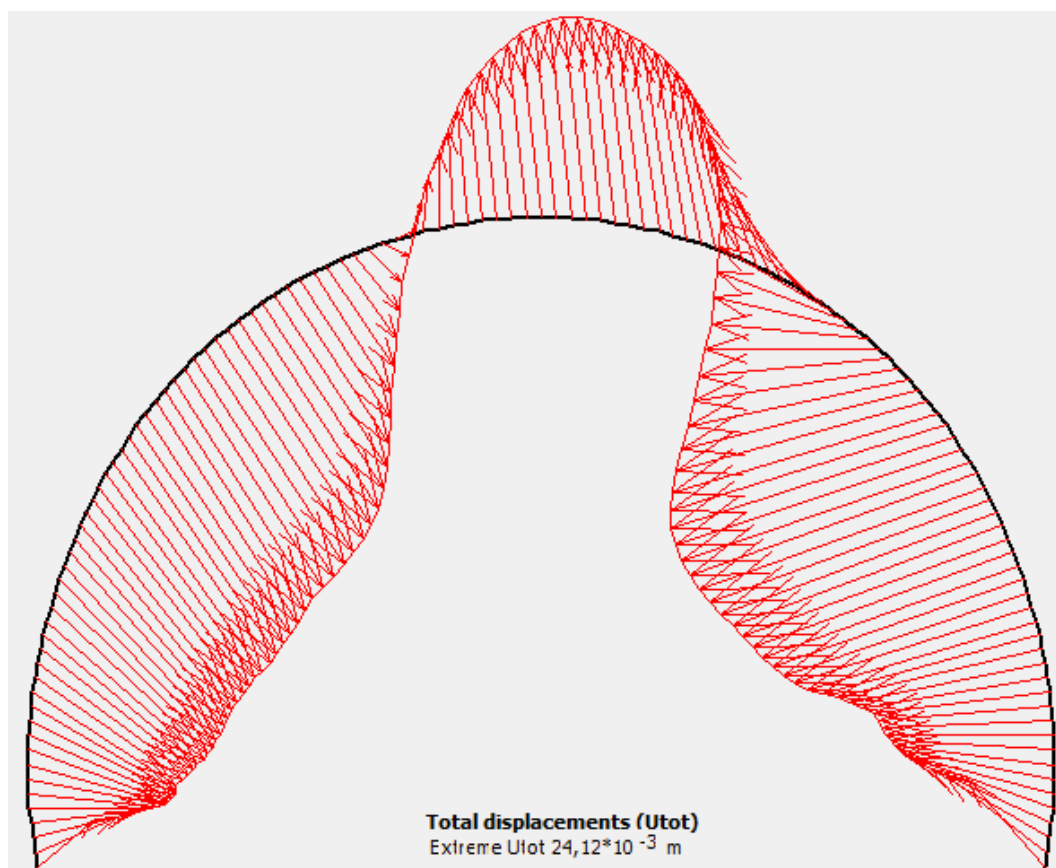
Obr. 49: Deformace síť



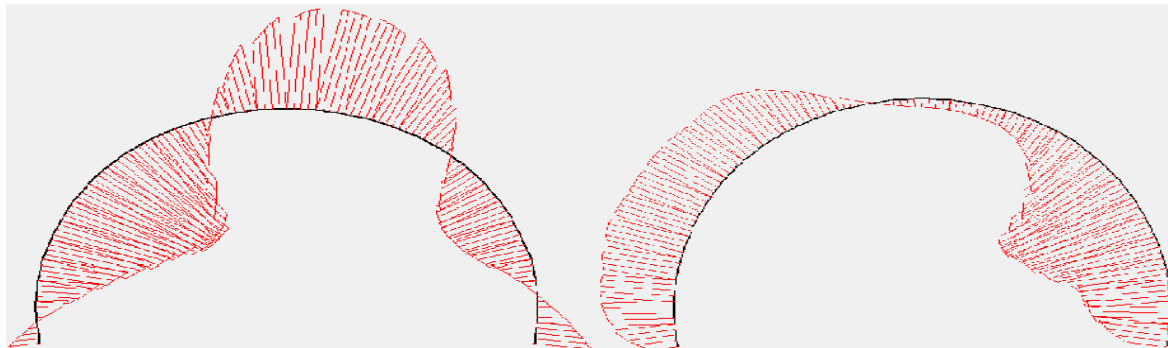
Obr. 50: Čerpání smykové pevnosti



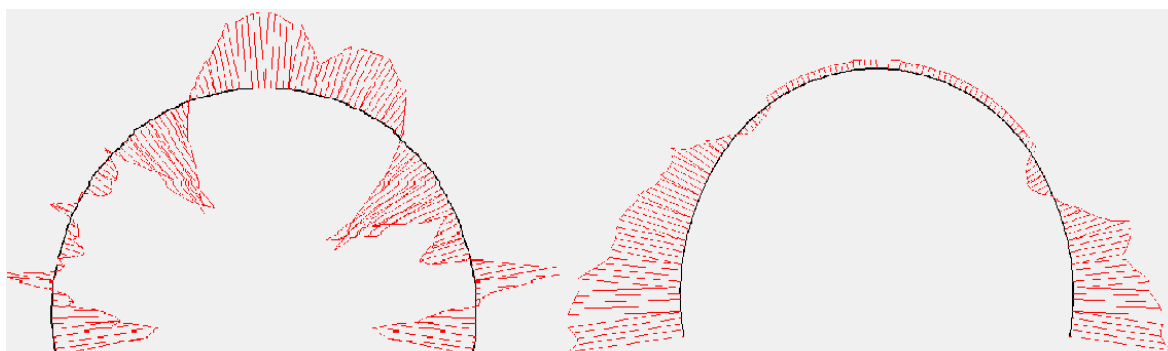
Obr. 51: Vznik plastických bodů



Obr. 52: Totální posuny obloukové výztuže



Obr. 53: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže



Obr. 54: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly

V této fázi pozorujeme, že při nesystémovém jednání (špatná základka nadvýlomů) dochází k navýšení vzniku plastických bodů a tím k věcem spojeným. Deformace sítě se ve srovnání s předcházejícími variantami výpočtu mírně zvýší. Oblasti vzniku tahových plastických bodů, viz obr. 51, se kolem nadvýlomu rozšíří a způsobí nerovnoměrné zatížení jak obloukové výztuže, tak i krátkých tyčových svorníků. Posudkem napětí ve výztuži zjišťujeme, že v oblastech nadvýlomu se napětí zvýší a překročí mez kluzu dané oceli, viz příloha 4. Taktéž síly ve svorníkové výztuži, které se mírně navýší a vykazují velký extrém na rozhraní nadvýlomu a rostlé horniny. K největší změně ovšem dochází v lanových kotvách, kdy nastává nesystémové zatížení kotev. Při správném kontaktu obloukové výztuže a okolní horniny dochází k aktivaci výztuže a kotev, které jsou tahově namáhány. V našem případě teď dochází k opačnému jevu, kdy jsou kotvy zatíženy tlakem, což lanové kotvy nemohou přenést. Mez pevnosti lanové kotvy není překročena, pouze se jedná o již zmíněné nesystémové a špatné zatížení.

Krátké tyčové svorníky				
Svorník číslo	Síla [kN]	Typ svorníku	Únosnost na mezi pevnosti (MPa)	Posudek $R_s < R_e$
1	535,26	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
2	495,47	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
3	917,47	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
4	533,89	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
5	73,17	APB - 1K	285	vyhoví
6	71,08	APB - 1K	285	vyhoví
7	71,71	APB - 1K	285	vyhoví
8	73,4	APB - 1K	285	vyhoví
9	69,11	Rockbolt K 60-25	350	vyhoví
10	495,41	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
11	1330	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví
12	593,04	Rockbolt K 60-25	350	nevyhoví

Tab. 13: Vyhodnocení krátkých tyčových svorníků

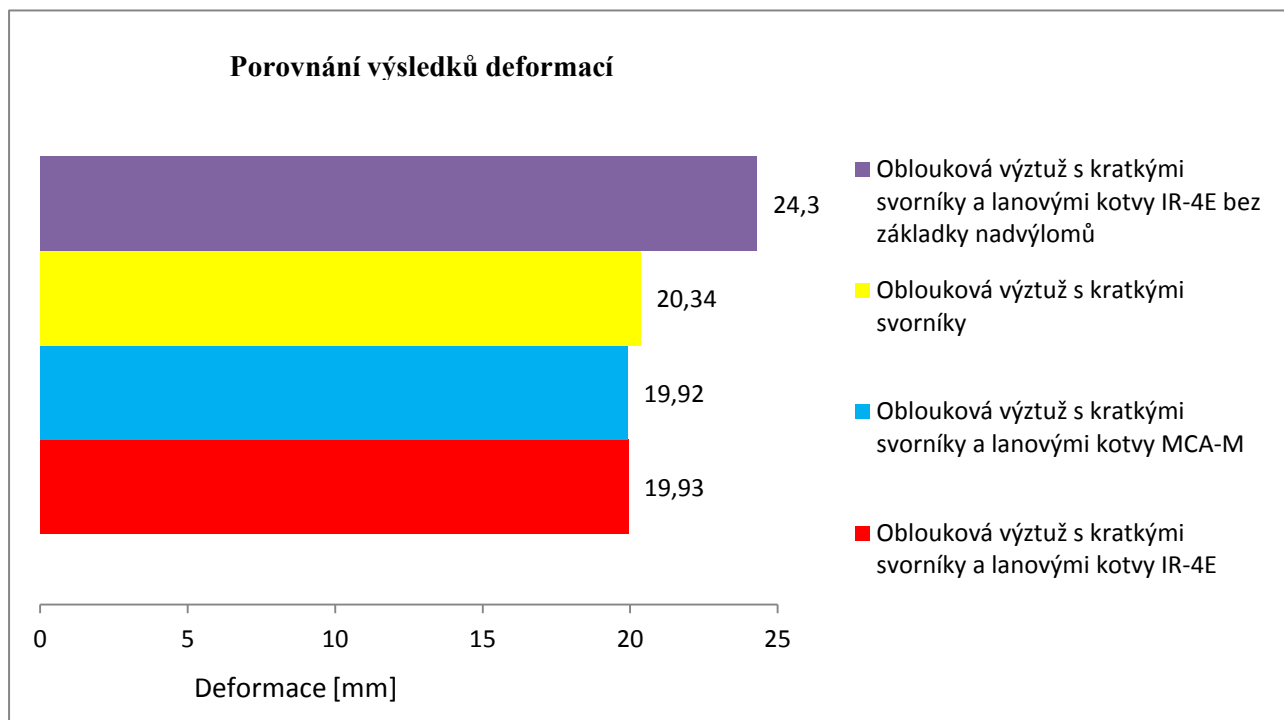
Lanové pramencové kotvy				
Kotva číslo	Síla [kN]	Typ kotvy	Únosnost na mezi pevnosti (MPa)	Posudek $R_s < R_e$
1	-35,92	IR-4E	420	vyhoví
2	-136,5	IR-4E	420	vyhoví

Tab. 14: Vyhodnocení lanových kotev

Porovnáním vertikálních, horizontálních a celkových deformací výztuže vidíme minimální vlivy lanových kotev na stabilitu díla, jediným důležitým faktem je kombinovanou výztuž provést systémově a dle pokynů pro instalaci vysokého kotvení. Rozdíl vidíme v procentuálním vyjádření, viz tab. 15.

Deformace obloukové výztuže						
Název modelu	Element	deformace U _x [mm]	Element	deformace U _y [mm]	totální deformace U [mm]	rozdíl deformací jednotlivých fází [%]
Oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvy IR-4E	5 TH 34	10,82mm	10 TH 34	19,1mm	19,93mm	výchozí fáze pro porovnání
Oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvy MCA-M	5 TH 34	10,8mm	10 TH 34	19mm	19,92mm	snížení o 0,01%
Oblouková výztuž s krátkými svorníky	5 TH 34	11,12mm	10 TH 34	19,37mm	20,34mm	zvýšení o 2,02%
Oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvy IR-4E bez základky nadvylomů	25 TH 34	22,81mm	10 TH 34	17,55mm	24,12mm	zvýšení o 17,37%

Tab. 15: Vyhodnocení deformací obloukové výztuže v jednotlivých fázích



Graf 1: Vyhodnocení výsledků deformací

5. Závěr

Numerickým modelem jednotlivých výztužných opatření v programovém prostředí softwaru Plaxis 8.2 bylo pozorováno a ověřováno ovlivnění stability důlního díla vysokým kotvením. Návrh výztužných opatření vyplývá z předpisů a zkušeností výrobce kotevního systému.

Společným bodem všech variant výpočtů je primární modelový stav horninového masívu, který je určený geologickým vrtem zájmové oblasti (ČSM-1258/04 - ČMD). V první společné fázi pro všechny varianty necháme proběhnout 20 % celkových deformací. Tato hodnota proběhlých deformací je nižší a tím na straně bezpečí. Důsledkem proběhlé nižší deformace na nevyztužené dílo vzniká vyšší napětí ve výztuži. První varianta navazující na první fázi výpočtu modeluje dílo vyztužené obloukovou výztuží, krátkými svorníky a lanovými kotvy. Na základě modelu vychází fakt, že kolem obrysu díla zejména v oblasti počvy dochází k vyčerpání smykové pevnosti a vzniku plastických bodů. To způsobuje nerovnoměrné zatížení výztuže a svorníků. Při posouzení napětí ve výztuži dosáhneme a překročíme mez kluzu a tím je vytvořen řetězec s plastickými klouby. Ve spodní části obloukové výztuže stojiny oblouku překročí mez pevnosti. Nastává prudké klesání pevnosti a vzrůstající deformace. Totéž nastává u posudku krátkých tyčových svorníků, kdy mez pevnosti je také překročena. U sklolaminátových svorníků se musíme podívat na fakt, že únosnost podložky svorníků je cca poloviční oproti únosnosti kotvy, tedy vzniká situace, při které se podložka převléká přes matici na svorníku a následně dochází k jeho obtékání horninovým masívem. Meze pevnosti u svorníku i obloukové výztuže jsou v mnohých místech překročeny, ovšem v modelu nedokážeme zohlednit porušování, plastizaci horninového masívu (vyjetí uhelné sloje do díla atd.) a tím pádem snížení napětí v okolním prostředí. Tento fakt má vliv na snížení výsledných skutečných vnitřních sil ve výztužných prvcích. Lanové kotvy v první variantě výpočtu jsou využity z jedné třetiny své únosnosti. Vzhledem k již řešenému možnému problému přetížení díla tento návrh považujeme za vyhovující. Navíc některé kotevní prvky jsou zatíženy tlakem, tj. dochází ke zvedání, a to bude mít za následek jejich uvolňování z masívu a nutnost znovu dopnutí.

Ve druhé variantě výpočtu navrhujeme lanové kotvy s předpětím. Model se neliší od první varianty kromě předpětí, které je stanoveno na hodnotu 150 kN. Předpětím lanové kotvy

stlačíme dotčený horninový blok, a tak zvýšíme smykovou pevnost nadložních vrstev. Další výhodou této varianty je částečná prevence vzniku deformací v budoucím čase. Pro případné přetížení díla máme v horninovém masívu zakonzervovanou sílu o velikosti 15 tun, která musí být nejprve překonána, aby došlo k dalším přídatným deformacím díla. Zde vidíme obrovskou výhodu. Systém vysokého kotvení nemá valný vliv na prvotní stabilitu díla, ale pomáhá nám snižovat deformace výztuže v průběhu těžby, a tím zvyšovat životnost díla.

Předposlední varianta modeluje stav bez lanových kotev. V této variantě si jen ověříme, co je již řečeno. Vysoké kotvení při samém stavu vyražení a zabudování nemá významný vliv na stabilitu a snížení napětí v obloukové výztuži. Prvotní deformace výztuže po zabudování se minimálně zvýší, stejně jak napětí ve výztuži. Druhá stránka věci je, že napětí ve výztužích už je za hranici meze pevnosti a nemůžeme si ještě dovolit toto napětí zvýšit.

Čtvrtá varianta modeluje stav, kdy nastává mnohdy nechtěná a zejména nesystémová chyba, při které nedojde k zakládce nadvýlomů. Při této chybě zvýšíme deformace výztuže, která se zatlačí do nadvýlomu. Paradoxně nastane fakt, že v mnohých předešlých nevyhovujících bodech předcházejících fází se napětí ve výztuži sníží, a to díky částečné deformaci výztuže do nadvýlomu. Naopak v místech nadvýlomu se napětí zvýší. Lanové kotvy díky zatlačení výztuže do nadvýlomu nejsou namáhány. Software dokonce vyhodnotil, že v kotvách vzniká tlak, což je částečně logické, ačkoliv skutečnost je, že dojde k vyjetí kotvy skrze obloukovou výztuž (volný konec kotvy), tj. dochází ke zvedání, a to bude mít za následek jejich uvolňování z masivu a nutnost znovu dopnutí.

Po celkové konzultaci výsledků modelů s odborníkem z praxe je resumé, že vždy musí nastat správné vyhodnocení výsledků ve smyslu použití takových dat, které se blíží možné skutečnosti v závislosti na předešlých a dlouhodobých zkušenostech. Programový softwar nedokáže zachytit deformace v čase, veškeré skutečnosti a fakta, proto se snažíme při zadávání modelu různě improvizovat a výsledky konzultovat s osobou dotčenou problematikou.

6. Seznam použitých zdrojů

[1] spol. Rock Mechanics Technology. *Příručka firmy MINOVA – Horninové svorníky kotvené pryskyřicí*. Chipping Norton, 2006

[2] ŠŇUPÁREK, Richard. *Metodický návod pro navrhování a používání vysokého kotvení pro stabilizaci důlních děl v podmínkách OKR*. Ostrava, 2010

[3] ALDORF, Josef. *Mechanika podzemních konstrukcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1999, 410 s. ISBN 80-707-8695-7.

[4] ŠŇUPÁREK, Richard. SOUČASNÉ VÝHLEDY A TENDENCE V OBLASTI METOD ZAJIŠŤOVÁNÍ PORUBNÍCH CHODEB V UHELNÝCH DOLECH. In:
[online]. [cit. 2013-11-24]. Dostupné z:
<http://fast10.vsb.cz/science/seminar2009/pics/11.pdf>

[5] NASTULCZYK, Česlava. Svorníkování se vrací do dolů OKD. *HORNÍK* [online]. 2010, roč. 40, č. 8 [cit. 2013-11-24]. Dostupné z:
http://www.okd.cz/dokums_casopis/hornik_0810_web_opr_3370_3431.pdf

[6] POLUS, Marian. *Obudowa podporowo – kotwiowa jako sposób utrzymania gabarytów wyrobisk chodnikowych w trudnych warunkach górniczo - geologicznych*. Zabrze, 2010

[7] Aplikace pro hornictví. *Minova Bohemia* [online]. [cit. 2013-11-24]. Dostupné z:
<http://www.minova.cz/aplikace/hornictvi/>

[8] BRINKCREVE, R.B.J *Plaxis manual*. Netherlands: Balkema, 2002. ISBN 90-5809-508-8.

7. Seznam obrázků

Obrázek 1: Napětí kolem podzemních děl obdélníkového a kruhového průřezu Zdroj [1]	4
Obrázek 2: Porušení smykem obdélníkových a kruhových profilů díla Zdroj [1]	4
Obrázek 3: Znázornění omezovacích funkcí svorníků Zdroj [1]	5
Obrázek 4: Zavěšení bloků rozrušené vrstvy o výše položenou únosnou vrstvu Zdroj [1]	6
Obrázek 5: Udržení napětí ve stropu díla Zdroj [1]	7
Obrázek 6: Svěrné zatížení je menší než hmotnost horniny, může dojít k pádu stropu Zdroj [1]	8
Obrázek 7: Výztuž slabého stropu v podmínkách vysokého napětí Zdroj [1]	8
Obrázek 8: Ocelová oblouková výztuž Zdroj [http://www.konstrukce.cz]	9
Obrázek 9: Systém rukávců Bullflex Zdroj [7]	9
Obrázek 10: Schéma klenbové teorie dle Protodjakonova pro kruhové dílo Zdroj [6]	11
Obrázek 11: Lepící ampule Lokset Zdroj [1]	12
Obrázek 12: Stropnice přes obloukovou výztuž a lanová kotva MCA-M Zdroj [7]	13
Obrázek 13: TH podvlaky (stropnice) s válcovou podložkou Zdroj [7]	13
Obrázek 14: Šachovnicové rozmístění podvlaků a umístění v ose díla Zdroj [6]	14
Obrázek 15: Podélný výplňový vak systému Bullflex Zdroj [7]	15
Obrázek 16: Primární zajištění díla (vyztužený nosník) a následné zavěšení pomocí lanových kotev do vyššího pevného nadloží Zdroj [Autor]	16
Obrázek 17: Umístění díla v profilu vrtu Zdroj [OKD DPB a.s.]	18
Obrázek 18: Základní geometrie díla Zdroj [Autor]	19

Obrázek 19: Tyčový svorník APB-1K Zdroj [7]	22
Obrázek 20: Tyčový sklolaminátový svorník Rocklbolt K 60-25 Zdroj [7]	22
Obrázek 21: Lanová pramencová kotva IR-4E Zdroj [Autor]	23
Obrázek 22: Lanová pramencová kotva MCA-M předpínatelná Zdroj [Autor]	23
Obrázek 23: Schéma geometrie modelu důlního díla Zdroj [Autor]	24
Obrázek 24: Detail geometrie díla s nadvýlomy Zdroj [Autor]	25
Obrázek 25: Vygenerovaná síť důlního modelu Zdroj [Autor]	26
Obrázek 26: Hladina podzemní vody a vygenerovaný pórový tlak Zdroj [Autor]	26
Obrázek 27: Primární napětí rostlého horninového masivu Zdroj [Autor]	27
Obrázek 28: Rozsah čerpání smykové pevnosti ve fázi vyražení díla Zdroj [Autor]	29
Obrázek 29: Deformace horninového masívu Zdroj [Autor]	29
Obrázek 30: Aktivace výztužných prvků a hornin s mechanicky zvýšenou soudržností Zdroj [Autor]	30
Obrázek 31: Deformace sítě Zdroj [Autor]	31
Obrázek 32: Čerpání smykové pevnosti Zdroj [Autor]	32
Obrázek 33: Čerpání smykové pevnosti po úpravě barevného spektra Zdroj [Autor]	32
Obrázek 34: Vznik plastických bodů Zdroj [Autor]	33
Obrázek 35: Totální posuny obloukové výztuže Zdroj [Autor]	33
Obrázek 36: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže Zdroj [Autor]	34
Obrázek 37: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly Zdroj [Autor]	34
Obrázek 38: Nárůst normálové síly od vlivu nadvýlomu Zdroj [Autor]	35
Obrázek 39: Čerpání smykové pevnosti Zdroj [Autor]	36
Obrázek 40: Vznik plastických bodů Zdroj [Autor]	37

Obrázek 41: Totální posuny obloukové výztuže Zdroj [Autor]	37
Obrázek 42: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže Zdroj [Autor]	38
Obrázek 43: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly Zdroj [Autor]	38
Obrázek 44: Čerpání smykové pevnosti Zdroj [Autor]	39
Obrázek 45: Vznik plastických bodů Zdroj [Autor]	39
Obrázek 46: Totální posuny obloukové výztuže Zdroj [Autor]	40
Obrázek 47: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže Zdroj [Autor]	40
Obrázek 48: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly Zdroj [Autor]	40
Obrázek 49: Deformace sítě Zdroj [Autor]	41
Obrázek 50: Čerpání smykové pevnosti Zdroj [Autor]	42
Obrázek 51: Vznik plastických bodů Zdroj [Autor]	42
Obrázek 52: Totální posuny obloukové výztuže Zdroj [Autor]	43
Obrázek 53: Vlevo vertikální posuny a vpravo horizontální posuny výztuže Zdroj [Autor]	43
Obrázek 54: Vlevo ohybový moment a vpravo normálové síly Zdroj [Autor]	43

8. Seznam tabulek

Tabulka 1: Mechanické parametry hornin v zájmové oblasti Zdroj [Autor]	20
Tabulka 2: Mechanické parametry ocelové obloukové výztuže Zdroj [Autor]	21
Tabulka 3: Mechanické parametry ocelových svorníků Zdroj [Autor]	22
Tabulka 4: Mechanické parametry sklolaminátových svorníků Zdroj [Autor]	22
Tabulka 5: Mechanické parametry lanové kotvy Zdroj [Autor]	23
Tabulka 6: Mechanické parametry lanové kotvy předpínatelné Zdroj [Autor]	23
Tabulka 7: Mechanické parametry směsi Adibet-W15 systému Bullflex Zdroj [Autor]	23
Tabulka 8: Mechanické parametry hornin se zvýšenou soudržností Zdroj [Autor]	24
Tabulka 9: Přehled fází kalkulačního módu Zdroj [Autor]	28
Tabulka 10: Vyhodnocení krátkých tyčových svorníků Zdroj [Autor]	35
Tabulka 11: Vyhodnocení lanových pramencových kotev Zdroj [Autor]	36
Tabulka 12: Vyhodnocení lanových pramencových kotev předepnutých Zdroj [Autor]	38
Tabulka 13: Vyhodnocení krátkých tyčových svorníků Zdroj [Autor]	44
Tabulka 14: Vyhodnocení lanových kotev Zdroj [Autor]	44
Tabulka 15: Vyhodnocení deformací obloukové výztuže v jednotlivých fázích Zdroj [Autor]	45

9. Seznam grafů

Graf 1: Vyhodnocení výsledků deformací Zdroj [Autor]

45

10. Přílohy

A(m ²)	0,00431
W (m ³)	0,000128
Re (kPa)	3,50E+05

Příloha č.1: Posudek obloukové výztuže s krátkými svorníky a lanovými kotvy IR-4E

Oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvy IR-4E								
Element	M [kNm/m]	N [kN/m]	N/A	(M/W)	(N/A)+(M/W)	(N/A)-(M/W)	$\sigma_i < Re$	$\sigma_i < Re$
1	0,00	-4295,83	-996712,30	0,00	-996712,30	-996712,30	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-53,37	-3972,41	-921671,74	-416920,23	-1338591,97	-504751,51	nevyhoví	nevyhoví
	-61,28	-3943,82	-915040,35	-478740,53	-1393780,88	-436299,82	nevyhoví	nevyhoví
	-49,15	-4095,78	-950296,13	-383952,13	-1334248,25	-566344,00	nevyhoví	nevyhoví
	-33,22	-4313,95	-1000917,15	-259562,94	-1260480,08	-741354,21	nevyhoví	nevyhoví
2	-33,22	-4261,26	-988691,28	-259562,94	-1248254,21	-729128,34	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-39,50	-4176,97	-969135,57	-308609,59	-1277745,15	-660525,98	nevyhoví	nevyhoví
	-37,05	-4071,92	-944761,37	-289428,40	-1234189,77	-655332,97	nevyhoví	nevyhoví
	-26,44	-3960,61	-918935,22	-206537,22	-1125472,44	-712398,00	nevyhoví	nevyhoví
	-8,19	-3857,55	-895023,64	-63996,17	-959019,81	-831027,47	nevyhoví	nevyhoví
3	-8,19	-3927,31	-911208,77	-63996,17	-975204,94	-847212,60	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-13,01	-3682,76	-854467,84	-101674,80	-956142,64	-752793,05	nevyhoví	nevyhoví
	-8,50	-3401,23	-789148,26	-66426,63	-855574,89	-722721,63	nevyhoví	nevyhoví
	5,62	-3123,14	-724626,45	43938,09	-680688,36	-768564,54	nevyhoví	nevyhoví
	29,67	-2888,90	-670278,70	231802,59	-438476,11	-902081,29	nevyhoví	nevyhoví
4	29,67	-2871,65	-666277,03	231802,59	-434474,44	-898079,62	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	8,12	-2815,86	-653331,72	63401,57	-589930,15	-716733,29	nevyhoví	nevyhoví
	-2,70	-2810,55	-652100,56	-21101,99	-673202,54	-630998,57	nevyhoví	nevyhoví
	-4,73	-2836,28	-658070,67	-36947,40	-695018,07	-621123,27	nevyhoví	nevyhoví
	0,44	-2873,60	-666729,16	3405,26	-663323,90	-670134,43	nevyhoví	nevyhoví
5	0,44	-2860,11	-663599,70	3405,26	-660194,43	-667004,96	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-10,36	-2779,45	-644884,06	-80935,30	-725819,37	-563948,76	nevyhoví	nevyhoví
	-14,47	-2703,71	-627311,09	-113049,26	-740360,35	-514261,83	nevyhoví	nevyhoví
	-12,53	-2627,29	-609578,91	-97900,84	-707479,75	-511678,07	nevyhoví	nevyhoví
	-5,02	-2544,56	-590385,73	-39213,06	-629598,79	-551172,67	nevyhoví	nevyhoví
6	-5,02	-2562,72	-594598,14	-39213,06	-633811,20	-555385,09	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-9,36	-2400,65	-556995,15	-73123,26	-630118,41	-483871,89	nevyhoví	nevyhoví
	-8,64	-2233,41	-518193,69	-67529,07	-585722,76	-450664,62	nevyhoví	nevyhoví
	-1,61	-2099,35	-487088,42	-12573,25	-499661,68	-474515,17	nevyhoví	nevyhoví
	13,92	-2036,79	-472573,92	108723,54	-363850,38	-581297,46	nevyhoví	nevyhoví
7	13,92	-2106,62	-488774,66	108723,54	-380051,12	-597498,20	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-2,27	-1991,86	-462147,54	-17703,35	-479850,89	-444444,20	nevyhoví	nevyhoví
	-8,80	-1933,44	-448593,48	-68758,50	-517351,98	-379834,98	nevyhoví	nevyhoví

8	-3,02	-1943,59	-450949,91	-23608,53	-474558,44	-427341,38	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-10,16	-1843,49	-427724,78	-79387,92	-507112,70	-348336,86	nevyhoví	vyhoví
	-12,50	-1761,04	-408593,09	-97686,59	-506279,68	-310906,49	nevyhoví	vyhoví
	-10,82	-1709,29	-396585,92	-84499,83	-481085,74	-312086,09	nevyhoví	vyhoví
	-5,68	-1701,31	-394734,43	-44396,21	-439130,64	-350338,22	nevyhoví	nevyhoví
9	-5,68	-1748,65	-405719,23	-44396,21	-450115,45	-361323,02	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-11,31	-1625,72	-377196,50	-88338,20	-465534,70	-288858,29	nevyhoví	vyhoví
	-12,29	-1554,43	-360657,38	-96038,82	-456696,20	-264618,56	nevyhoví	vyhoví
	-7,00	-1519,44	-352538,28	-54651,53	-407189,81	-297886,76	nevyhoví	vyhoví
	7,15	-1505,38	-349275,68	55831,84	-293443,85	-405107,52	vyhoví	nevyhoví
10	7,15	-1548,98	-359391,37	55831,84	-303559,53	-415223,20	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-11,88	-1394,60	-323573,90	-92826,41	-416400,31	-230747,48	nevyhoví	vyhoví
	-21,18	-1280,33	-297061,44	-165487,80	-462549,24	-131573,64	nevyhoví	vyhoví
	-23,95	-1207,58	-280180,19	-187133,94	-467314,12	-93046,25	nevyhoví	vyhoví
	-22,19	-1177,73	-273256,36	-173346,03	-446602,39	-99910,33	nevyhoví	vyhoví
11	-22,19	-1212,86	-281406,59	-173346,03	-454752,62	-108060,56	nevyhoví	vyhoví
TH 34	-23,88	-1110,01	-257541,76	-186592,17	-444133,94	-70949,59	nevyhoví	vyhoví
	-13,86	-1068,24	-247852,62	-108266,77	-356119,39	-139585,86	nevyhoví	vyhoví
	15,45	-1114,07	-258485,01	120665,59	-137819,42	-379150,61	vyhoví	nevyhoví
	72,67	-1273,97	-295584,76	567754,81	272170,06	-863339,57	vyhoví	nevyhoví
12	72,67	-484,57	-112429,64	567754,81	455325,17	-680184,45	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	46,23	-388,42	-90120,13	361185,34	271065,20	-451305,47	vyhoví	nevyhoví
	27,29	-288,85	-67019,62	213212,63	146193,00	-280232,25	vyhoví	vyhoví
	15,28	-222,26	-51568,23	119354,94	67786,70	-170923,17	vyhoví	vyhoví
	9,23	-225,01	-52206,09	72135,22	19929,14	-124341,31	vyhoví	vyhoví
13	9,23	-233,08	-54079,35	72135,22	18055,87	-126214,58	vyhoví	vyhoví
TH 34	5,40	-217,81	-50535,23	42208,51	-8326,72	-92743,74	vyhoví	vyhoví
	3,64	-209,01	-48494,24	28408,30	-20085,94	-76902,53	vyhoví	vyhoví
	3,36	-215,42	-49981,65	26247,47	-23734,18	-76229,12	vyhoví	vyhoví
	4,14	-245,77	-57022,76	32317,54	-24705,22	-89340,30	vyhoví	vyhoví
14	4,14	-254,61	-59074,98	32317,54	-26757,44	-91392,52	vyhoví	vyhoví
TH 34	3,44	-223,89	-51946,20	26861,10	-25085,10	-78807,30	vyhoví	vyhoví
	2,96	-196,78	-45656,67	23145,07	-22511,60	-68801,74	vyhoví	vyhoví
	2,84	-176,80	-41021,82	22169,01	-18852,82	-63190,83	vyhoví	vyhoví
	3,24	-167,47	-38857,06	25294,76	-13562,31	-64151,82	vyhoví	vyhoví
15	3,24	-142,54	-33072,07	25294,76	-7777,31	-58366,83	vyhoví	vyhoví
TH 34	2,63	-131,09	-30414,68	20523,89	-9890,79	-50938,57	vyhoví	vyhoví
	3,55	-92,99	-21575,76	27713,32	6137,56	-49289,09	vyhoví	vyhoví
	5,67	-88,33	-20493,78	44328,04	23834,26	-64821,82	vyhoví	vyhoví
	7,94	-177,17	-41107,20	61995,90	20888,70	-103103,10	vyhoví	vyhoví
16	7,94	-88,08	-20436,90	61995,90	41559,00	-82432,80	vyhoví	vyhoví
TH 34	-6,88	-84,03	-19496,67	-53717,71	-73214,38	34221,03	vyhoví	vyhoví
	-6,59	-76,09	-17653,31	-51456,79	-69110,10	33803,48	vyhoví	vyhoví
	-3,97	-72,01	-16708,12	-31054,05	-47762,16	14345,93	vyhoví	vyhoví
	-5,15	-79,57	-18462,41	-40258,36	-58720,77	21795,95	vyhoví	vyhoví

17	-5,15	-82,25	-19082,94	-40258,36	-59341,29	21175,42	vyhoví	vyhoví
TH 34	-4,46	-69,06	-16023,25	-34864,44	-50887,70	18841,19	vyhoví	vyhoví
	-7,34	-79,08	-18348,16	-57359,92	-75708,08	39011,76	vyhoví	vyhoví
	-7,71	-89,77	-20828,38	-60235,10	-81063,48	39406,72	vyhoví	vyhoví
	7,00	-78,59	-18234,62	54665,50	36430,88	-72900,13	vyhoví	vyhoví
18	7,00	-205,08	-47582,35	54665,50	7083,16	-102247,85	vyhoví	vyhoví
TH 34	5,37	-100,98	-23429,18	41965,80	18536,62	-65394,98	vyhoví	vyhoví
	2,79	-94,85	-22008,12	21760,71	-247,41	-43768,83	vyhoví	vyhoví
	1,17	-125,14	-29034,36	9104,43	-19929,93	-38138,78	vyhoví	vyhoví
	1,34	-130,26	-30223,10	10470,53	-19752,57	-40693,62	vyhoví	vyhoví
19	1,34	-148,25	-34397,19	10470,53	-23926,67	-44867,72	vyhoví	vyhoví
TH 34	0,54	-153,96	-35721,09	4215,19	-31505,90	-39936,28	vyhoví	vyhoví
	0,37	-170,46	-39548,81	2886,75	-36662,06	-42435,56	vyhoví	vyhoví
	0,80	-201,90	-46845,23	6220,51	-40624,72	-53065,74	vyhoví	vyhoví
	1,83	-252,46	-58575,20	14281,10	-44294,10	-72856,30	vyhoví	vyhoví
20	1,83	-245,13	-56873,81	14281,10	-42592,70	-71154,91	vyhoví	vyhoví
TH 34	1,49	-246,94	-57295,19	11648,55	-45646,64	-68943,74	vyhoví	vyhoví
	1,57	-264,17	-61291,73	12290,24	-49001,49	-73581,97	vyhoví	vyhoví
	2,17	-300,14	-69637,21	16944,49	-52692,73	-86581,70	vyhoví	vyhoví
	3,43	-358,18	-83105,40	26780,98	-56324,42	-109886,38	vyhoví	vyhoví
21	3,43	-336,03	-77965,60	26780,98	-51184,62	-104746,58	vyhoví	vyhoví
TH 34	2,97	-343,47	-79692,40	23192,08	-56500,33	-102884,48	vyhoví	vyhoví
	3,11	-362,25	-84047,66	24289,29	-59758,37	-108336,95	vyhoví	vyhoví
	3,75	-392,40	-91045,18	29327,79	-61717,39	-120372,96	vyhoví	vyhoví
	4,88	-434,01	-100698,74	38118,31	-62580,42	-138817,05	vyhoví	vyhoví
22	4,88	-419,54	-97341,21	38118,31	-59222,89	-135459,52	vyhoví	vyhoví
TH 34	4,27	-410,33	-95204,21	33357,99	-61846,22	-128562,20	vyhoví	vyhoví
	4,12	-412,35	-95673,11	32219,83	-63453,29	-127892,94	vyhoví	vyhoví
	4,61	-426,84	-99034,50	36050,41	-62984,09	-135084,91	vyhoví	vyhoví
	6,02	-455,03	-105574,95	47029,54	-58545,41	-152604,50	vyhoví	vyhoví
23	6,02	-443,23	-102836,49	47029,54	-55806,95	-149866,03	vyhoví	vyhoví
TH 34	5,66	-411,66	-95511,81	44253,56	-51258,25	-139765,37	vyhoví	vyhoví
	6,62	-403,92	-93716,02	51735,83	-41980,19	-145451,85	vyhoví	vyhoví
	9,41	-422,32	-97986,83	73495,91	-24490,92	-171482,75	vyhoví	vyhoví
	14,74	-469,20	-108861,96	115174,16	6312,20	-224036,13	vyhoví	vyhoví
24	14,74	-461,81	-107147,38	115174,16	8026,78	-222321,54	vyhoví	vyhoví
TH 34	20,21	-520,86	-120848,34	157907,97	37059,63	-278756,31	vyhoví	vyhoví
	32,22	-583,88	-135472,10	251744,90	116272,80	-387216,99	vyhoví	nevyhoví
	43,77	-681,69	-158164,02	341924,69	183760,67	-500088,70	vyhoví	nevyhoví
	43,89	-845,06	-196069,45	342895,86	146826,41	-538965,31	vyhoví	nevyhoví
25	43,89	-1364,90	-316682,00	342895,86	26213,86	-659577,85	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-14,15	-1353,67	-314076,68	-110515,57	-424592,25	-203561,11	nevyhoví	vyhoví
	-34,85	-1423,86	-330361,62	-272227,25	-602588,87	-58134,37	nevyhoví	vyhoví
	-34,80	-1558,04	-361493,25	-271908,38	-633401,63	-89584,87	nevyhoví	vyhoví
	-26,72	-1738,77	-403427,96	-208788,73	-612216,69	-194639,22	nevyhoví	vyhoví

26	-26,72	-1728,36	-401012,25	-208788,73	-609800,98	-192223,52	nevyhoví	vyhoví
TH 34	-27,40	-1786,35	-414466,77	-214069,05	-628535,82	-200397,73	nevyhoví	vyhoví
	-23,31	-1848,79	-428952,97	-182142,13	-611095,09	-246810,84	nevyhoví	vyhoví
	-12,82	-1931,45	-448132,09	-100185,66	-548317,74	-347946,43	nevyhoví	vyhoví
	6,58	-2050,12	-475665,36	51414,40	-424250,96	-527079,76	nevyhoví	nevyhoví
27	6,58	-1991,16	-461984,92	51414,40	-410570,52	-513399,32	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-7,06	-2100,26	-487299,07	-55185,03	-542484,10	-432114,05	nevyhoví	nevyhoví
	-13,08	-2263,43	-525158,45	-102195,52	-627353,97	-422962,92	nevyhoví	nevyhoví
	-12,98	-2458,46	-570407,66	-101382,65	-671790,31	-469025,01	nevyhoví	nevyhoví
	-7,57	-2663,11	-617891,35	-59159,57	-677050,92	-558731,78	nevyhoví	nevyhoví
28	-7,57	-2658,94	-616924,01	-59159,57	-676083,58	-557764,44	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-15,21	-2688,41	-623760,70	-118823,57	-742584,27	-504937,13	nevyhoví	nevyhoví
	-16,88	-2747,18	-637396,66	-131839,69	-769236,35	-505556,97	nevyhoví	nevyhoví
	-11,88	-2835,46	-657878,31	-92775,09	-750653,40	-565103,21	nevyhoví	nevyhoví
	0,37	-2953,44	-685252,02	2897,95	-682354,07	-688149,97	nevyhoví	nevyhoví
29	0,37	-2949,13	-684253,64	2897,95	-681355,69	-687151,59	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-4,77	-2897,06	-672172,37	-37230,33	-709402,70	-634942,04	nevyhoví	nevyhoví
	-2,99	-2856,85	-662841,88	-23378,09	-686219,97	-639463,79	nevyhoví	nevyhoví
	7,37	-2849,40	-661113,46	57591,30	-603522,15	-718704,76	nevyhoví	nevyhoví
	28,39	-2895,62	-671838,42	221772,07	-450066,35	-893610,49	nevyhoví	nevyhoví
30	28,39	-2918,30	-677100,12	221772,07	-455328,05	-898872,19	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	4,45	-3157,43	-732583,39	34777,40	-697805,99	-767360,79	nevyhoví	nevyhoví
	-9,39	-3437,64	-797596,03	-73394,66	-870990,69	-724201,37	nevyhoví	nevyhoví
	-13,34	-3717,63	-862560,30	-104234,47	-966794,77	-758325,83	nevyhoví	nevyhoví
	-7,59	-3956,14	-917898,40	-59293,44	-977191,84	-858604,96	nevyhoví	nevyhoví
31	-7,59	-3932,75	-912470,56	-59293,44	-971763,99	-853177,12	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-25,78	-4021,23	-932999,35	-201403,93	-1134403,28	-731595,42	nevyhoví	nevyhoví
	-36,58	-4140,95	-960776,59	-285773,88	-1246550,47	-675002,71	nevyhoví	nevyhoví
	-39,20	-4239,42	-983622,99	-306288,40	-1289911,39	-677334,59	nevyhoví	nevyhoví
	-33,21	-4264,14	-989359,26	-259424,09	-1248783,35	-729935,16	nevyhoví	nevyhoví
32	-33,21	-4303,06	-998390,35	-259424,09	-1257814,44	-738966,25	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-49,54	-4159,10	-964989,42	-387041,75	-1352031,17	-577947,67	nevyhoví	nevyhoví
	-61,73	-4039,91	-937333,48	-482280,85	-1419614,33	-455052,63	nevyhoví	nevyhoví
	-53,48	-4077,54	-946064,32	-417834,18	-1363898,50	-528230,14	nevyhoví	nevyhoví
	0,00	-4404,06	-1021823,74	0,00	-1021823,74	-1021823,74	nevyhoví	nevyhoví

Příloha č.2: Posudek obloukové výztuže s krátkými svorníky a lanovými kotvy MCA-M

Oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvy MCA-M								
Element	M [kNm/m]	N [kN/m]	N/A	(M/W)	(N/A)+(M/W)	(N/A)-(M/W)	$\sigma_i < R_e$	$\sigma_i < R_e$
1	0,00	-4384,47	-1017277,52	0,00	-1017277,52	-1017277,52	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-54,41	-4031,49	-935380,86	-425114,05	-1360494,91	-510266,80	nevyhoví	nevyhoví
	-62,30	-3977,65	-922888,05	-486756,95	-1409645,00	-436131,10	nevyhoví	nevyhoví
	-49,75	-4109,87	-953566,50	-388679,22	-1342245,72	-564887,28	nevyhoví	nevyhoví
	-33,52	-4315,10	-1001183,53	-261903,29	-1263086,82	-739280,24	nevyhoví	nevyhoví
2	-33,52	-4271,21	-990999,91	-261903,29	-1252903,20	-729096,62	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-39,61	-4184,95	-970985,36	-309444,84	-1280430,20	-661540,52	nevyhoví	nevyhoví
	-37,03	-4075,20	-945521,69	-289270,79	-1234792,48	-656250,90	nevyhoví	nevyhoví
	-26,34	-3960,27	-918856,89	-205786,95	-1124643,84	-713069,94	nevyhoví	nevyhoví
	-8,09	-3858,48	-895238,93	-63238,14	-958477,07	-832000,79	nevyhoví	nevyhoví
3	-8,09	-3923,35	-910290,46	-63238,14	-973528,60	-847052,32	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-12,99	-3682,74	-854463,06	-101475,57	-955938,63	-752987,49	nevyhoví	nevyhoví
	-8,64	-3405,83	-790216,77	-67466,43	-857683,20	-722750,35	nevyhoví	nevyhoví
	5,33	-3133,24	-726970,74	41615,97	-685354,77	-768586,72	nevyhoví	nevyhoví
	29,30	-2905,56	-674144,18	228942,96	-445201,22	-903087,14	nevyhoví	nevyhoví
4	29,30	-2887,17	-669877,12	228942,96	-440934,16	-898820,08	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	7,74	-2829,09	-656401,07	60473,53	-595927,54	-716874,59	nevyhoví	nevyhoví
	-2,97	-2819,59	-654197,33	-23225,20	-677422,53	-630972,13	nevyhoví	nevyhoví
	-4,85	-2839,68	-658858,21	-37864,97	-696723,18	-620993,25	nevyhoví	nevyhoví
	0,47	-2870,36	-665976,06	3677,64	-662298,42	-669653,70	nevyhoví	nevyhoví
5	0,47	-2861,29	-663871,88	3677,64	-660194,24	-667549,52	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-10,23	-2777,27	-644379,19	-79905,64	-724284,83	-564473,55	nevyhoví	nevyhoví
	-14,28	-2699,37	-626302,85	-111579,86	-737882,71	-514722,99	nevyhoví	nevyhoví
	-12,33	-2622,18	-608395,27	-96319,13	-704714,40	-512076,13	nevyhoví	nevyhoví
	-4,87	-2540,35	-589408,79	-38022,91	-627431,70	-551385,88	nevyhoví	nevyhoví
6	-4,87	-2553,93	-592558,61	-38022,91	-630581,52	-554535,70	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-9,29	-2393,95	-555441,58	-72558,81	-628000,39	-482882,77	nevyhoví	nevyhoví
	-8,69	-2231,81	-517821,37	-67899,94	-585721,31	-449921,42	nevyhoví	nevyhoví
	-1,76	-2103,59	-488072,53	-13730,20	-501802,73	-474342,32	nevyhoví	nevyhoví
	13,76	-2045,39	-474569,56	107521,54	-367048,02	-582091,10	nevyhoví	nevyhoví
7	13,76	-2114,58	-490622,06	107521,54	-383100,53	-598143,60	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-2,40	-1999,06	-463818,21	-18714,22	-482532,43	-445104,00	nevyhoví	nevyhoví
	-8,88	-1939,48	-449994,87	-69410,87	-519405,75	-380584,00	nevyhoví	nevyhoví
	-8,48	-1917,77	-444958,40	-66242,63	-511201,03	-378715,77	nevyhoví	nevyhoví
	-3,06	-1915,86	-444515,13	-23881,47	-468396,60	-420633,66	nevyhoví	nevyhoví
8	-3,06	-1947,61	-451881,21	-23881,47	-475762,67	-427999,74	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-10,16	-1846,04	-428314,97	-79349,50	-507664,47	-348965,47	nevyhoví	vyhoví
	-12,50	-1763,12	-409075,89	-97633,34	-506709,24	-311442,55	nevyhoví	vyhoví
	-10,83	-1711,88	-397188,24	-84604,20	-481792,43	-312584,04	nevyhoví	vyhoví

	-5,72	-1705,36	-395676,26	-44686,95	-440363,22	-350989,31	nevyhoví	nevyhoví
9	-5,72	-1752,17	-406535,48	-44686,95	-451222,43	-361848,52	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-11,35	-1628,75	-377901,35	-88702,13	-466603,48	-289199,21	nevyhoví	vyhoví
	-12,34	-1557,09	-361274,13	-96405,17	-457679,30	-264868,96	nevyhoví	vyhoví
	-7,04	-1521,79	-353083,57	-54964,39	-408047,96	-298119,18	nevyhoví	vyhoví
	7,12	-1507,46	-349759,42	55626,84	-294132,58	-405386,26	vyhoví	nevyhoví
10	7,12	-1551,07	-359876,01	55626,84	-304249,17	-415502,85	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-11,93	-1396,32	-323972,27	-93188,77	-417161,04	-230783,51	nevyhoví	vyhoví
	-21,24	-1281,76	-297393,18	-165931,75	-463324,93	-131461,43	nevyhoví	vyhoví
	-24,01	-1208,80	-280463,53	-187609,20	-468072,73	-92854,32	nevyhoví	vyhoví
	-22,25	-1178,82	-273508,03	-173816,77	-447324,80	-99691,25	nevyhoví	vyhoví
11	-22,25	-1213,95	-281659,91	-173816,77	-455476,68	-107843,13	nevyhoví	vyhoví
TH 34	-23,94	-1110,95	-257761,90	-187066,25	-444828,15	-70695,65	nevyhoví	vyhoví
	-13,91	-1069,15	-248062,92	-108639,75	-356702,67	-139423,17	nevyhoví	vyhoví
	15,43	-1115,05	-258713,43	120535,74	-138177,69	-379249,18	vyhoví	nevyhoví
	72,71	-1275,17	-295863,87	568049,58	272185,70	-863913,45	vyhoví	nevyhoví
12	72,71	-484,97	-112522,03	568049,58	455527,55	-680571,61	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	46,26	-388,85	-90220,27	361379,07	271158,80	-451599,34	vyhoví	nevyhoví
	27,31	-289,40	-67147,13	213360,70	146213,58	-280507,83	vyhoví	vyhoví
	15,30	-223,03	-51746,90	119506,31	67759,41	-171253,21	vyhoví	vyhoví
	9,26	-226,12	-52463,87	72329,75	19865,88	-124793,62	vyhoví	vyhoví
13	9,26	-234,24	-54348,87	72329,75	17980,88	-126678,62	vyhoví	vyhoví
TH 34	5,43	-219,17	-50850,42	42409,48	-8440,94	-93259,90	vyhoví	vyhoví
	3,66	-210,56	-48854,77	28595,66	-20259,12	-77450,43	vyhoví	vyhoví
	3,37	-217,28	-50412,36	26358,77	-24053,59	-76771,14	vyhoví	vyhoví
	4,13	-248,14	-57573,61	32238,95	-25334,66	-89812,56	vyhoví	vyhoví
14	4,13	-257,05	-59640,13	32238,95	-27401,18	-91879,08	vyhoví	vyhoví
TH 34	3,34	-226,06	-52450,01	26078,39	-26371,62	-78528,40	vyhoví	vyhoví
	2,69	-197,95	-45928,87	21028,07	-24900,80	-66956,94	vyhoví	vyhoví
	2,27	-176,96	-41057,45	17764,49	-23292,96	-58821,94	vyhoví	vyhoví
	2,21	-167,30	-38816,47	17281,08	-21535,40	-56097,55	vyhoví	vyhoví
15	2,21	-154,14	-35763,82	17281,08	-18482,74	-53044,89	vyhoví	vyhoví
TH 34	1,00	-125,84	-29198,27	7798,01	-21400,26	-36996,28	vyhoví	vyhoví
	0,16	-101,10	-23457,93	1268,37	-22189,55	-24726,30	vyhoví	vyhoví
	-0,20	-84,31	-19562,52	-1558,67	-21121,20	-18003,85	vyhoví	vyhoví
	0,09	-79,87	-18531,80	688,22	-17843,58	-19220,02	vyhoví	vyhoví
16	0,09	-88,72	-20584,21	688,22	-19895,99	-21272,43	vyhoví	vyhoví
TH 34	-0,81	-62,40	-14477,02	-6353,39	-20830,42	-8123,63	vyhoví	vyhoví
	-1,20	-52,09	-12084,98	-9394,08	-21479,06	-2690,90	vyhoví	vyhoví
	-1,23	-51,15	-11868,38	-9611,07	-21479,44	-2257,31	vyhoví	vyhoví
	-0,98	-52,96	-12287,53	-7693,36	-19980,89	-4594,16	vyhoví	vyhoví
17	-0,98	-53,34	-12376,43	-7693,36	-20069,79	-4683,07	vyhoví	vyhoví
TH 34	-1,27	-54,34	-12607,01	-9908,86	-22515,87	-2698,15	vyhoví	vyhoví
	-1,31	-58,31	-13528,76	-10203,45	-23732,21	-3325,31	vyhoví	vyhoví
	-1,01	-70,32	-16314,68	-7900,79	-24215,47	-8413,89	vyhoví	vyhoví

	-0,22	-95,41	-22137,77	-1752,42	-23890,19	-20385,34	vyhoví	vyhoví
18	-0,22	-93,38	-21666,22	-1752,42	-23418,65	-19913,80	vyhoví	vyhoví
TH 34	-0,77	-92,10	-21369,51	-6049,58	-27419,10	-15319,93	vyhoví	vyhoví
	-0,84	-102,38	-23754,04	-6525,76	-30279,80	-17228,28	vyhoví	vyhoví
	-0,49	-120,63	-27988,56	-3834,66	-31823,22	-24153,90	vyhoví	vyhoví
	0,24	-143,27	-33241,84	1879,88	-31361,96	-35121,72	vyhoví	vyhoví
19	0,24	-148,46	-34445,15	1879,88	-32565,27	-36325,02	vyhoví	vyhoví
TH 34	-0,08	-154,12	-35757,87	-643,32	-36401,20	-35114,55	vyhoví	vyhoví
	0,03	-170,86	-39643,32	251,73	-39391,58	-39895,05	vyhoví	vyhoví
	0,62	-202,56	-46997,81	4818,62	-42179,20	-51816,43	vyhoví	vyhoví
	1,74	-253,07	-58717,71	13560,45	-45157,26	-72278,16	vyhoví	vyhoví
20	1,74	-245,71	-57010,11	13560,45	-43449,66	-70570,57	vyhoví	vyhoví
TH 34	1,44	-247,26	-57369,98	11233,62	-46136,36	-68603,60	vyhoví	vyhoví
	1,54	-264,46	-61359,75	12057,15	-49302,60	-73416,90	vyhoví	vyhoví
	2,15	-300,54	-69730,05	16825,42	-52904,63	-86555,47	vyhoví	vyhoví
	3,42	-358,73	-83231,50	26752,74	-56478,76	-109984,25	vyhoví	vyhoví
21	3,42	-336,59	-78094,34	26752,74	-51341,59	-104847,08	vyhoví	vyhoví
TH 34	2,97	-344,15	-79849,92	23213,37	-56636,55	-103063,29	vyhoví	vyhoví
	3,12	-363,07	-84238,74	24355,29	-59883,44	-108594,03	vyhoví	vyhoví
	3,77	-393,39	-91272,76	29435,85	-61836,90	-120708,61	vyhoví	vyhoví
	4,90	-435,15	-100963,93	38268,48	-62695,44	-139232,41	vyhoví	vyhoví
22	4,90	-420,70	-97609,29	38268,48	-59340,81	-135877,77	vyhoví	vyhoví
TH 34	4,29	-411,50	-95475,43	33507,81	-61967,62	-128983,23	vyhoví	vyhoví
	4,14	-413,52	-95944,77	32366,98	-63577,79	-128311,75	vyhoví	vyhoví
	4,63	-428,00	-99304,83	36192,15	-63112,68	-135496,97	vyhoví	vyhoví
	6,04	-456,18	-105843,12	47163,10	-58680,02	-153006,22	vyhoví	vyhoví
23	6,04	-444,30	-103086,44	47163,10	-55923,34	-150249,54	vyhoví	vyhoví
TH 34	5,68	-412,55	-95720,36	44341,50	-51378,86	-140061,86	vyhoví	vyhoví
	6,63	-404,68	-93893,86	51792,57	-42101,29	-145686,42	vyhoví	vyhoví
	9,41	-423,01	-98147,25	73535,21	-24612,04	-171682,47	vyhoví	vyhoví
	14,75	-469,88	-109020,85	115210,22	6189,37	-224231,07	vyhoví	vyhoví
24	14,75	-462,48	-107303,53	115210,22	7906,69	-222513,75	vyhoví	vyhoví
TH 34	20,21	-521,55	-121009,93	157925,64	36915,71	-278935,57	vyhoví	vyhoví
	32,23	-584,71	-135663,17	251759,23	116096,06	-387422,41	vyhoví	nevyhoví
	43,76	-682,76	-158412,86	341871,45	183458,59	-500284,30	vyhoví	nevyhoví
	43,85	-846,52	-196408,57	342604,82	146196,25	-539013,39	vyhoví	nevyhoví
25	43,85	-1368,79	-317583,94	342604,82	25020,88	-660188,76	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-14,21	-1357,87	-315051,42	-111026,63	-426078,05	-204024,78	nevyhoví	vyhoví
	-34,92	-1428,52	-331443,69	-272797,52	-604241,21	-58646,17	nevyhoví	vyhoví
	-34,87	-1563,28	-362710,72	-272434,65	-635145,37	-90276,07	nevyhoví	vyhoví
	-26,78	-1744,70	-404802,46	-209184,71	-613987,17	-195617,75	nevyhoví	vyhoví
26	-26,78	-1733,14	-402121,00	-209184,71	-611305,71	-192936,29	nevyhoví	vyhoví
TH 34	-27,45	-1790,80	-415498,54	-214476,80	-629975,34	-201021,73	nevyhoví	vyhoví
	-23,42	-1854,11	-430187,91	-182944,59	-613132,50	-247243,33	nevyhoví	vyhoví
	-13,00	-1938,16	-449689,98	-101544,02	-551234,00	-348145,95	nevyhoví	vyhoví

	6,35	-2058,05	-477505,52	49616,05	-427889,48	-527121,57	nevyhoví	nevyhoví
27	6,35	-2001,22	-464320,32	49616,05	-414704,28	-513936,37	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-7,26	-2100,77	-487416,68	-56748,57	-544165,25	-430668,12	nevyhoví	nevyhoví
	-13,12	-2256,80	-523618,72	-102504,76	-626123,48	-421113,97	nevyhoví	nevyhoví
	-12,84	-2447,38	-567836,61	-100321,17	-668157,78	-467515,44	nevyhoví	nevyhoví
	-7,33	-2650,57	-614980,56	-57256,49	-672237,05	-557724,07	nevyhoví	nevyhoví
28	-7,33	-2646,62	-614065,55	-57256,49	-671322,04	-556809,05	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-14,85	-2680,08	-621827,91	-115996,65	-737824,56	-505831,26	nevyhoví	nevyhoví
	-16,55	-2742,38	-636282,95	-129278,36	-765561,31	-507004,59	nevyhoví	nevyhoví
	-11,69	-2831,81	-657033,55	-91325,59	-748359,14	-565707,96	nevyhoví	nevyhoví
	0,36	-2946,67	-683682,62	2812,41	-680870,22	-686495,03	nevyhoví	nevyhoví
29	0,36	-2941,53	-682490,65	2812,41	-679678,24	-685303,06	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-4,95	-2898,58	-672524,99	-38695,10	-711220,09	-633829,89	nevyhoví	nevyhoví
	-3,31	-2865,28	-664798,05	-25897,36	-690695,41	-638900,69	nevyhoví	nevyhoví
	6,99	-2862,34	-664116,61	54583,73	-609532,88	-718700,35	nevyhoví	nevyhoví
	28,05	-2910,49	-675287,52	219111,55	-456175,97	-894399,06	nevyhoví	nevyhoví
30	28,05	-2934,34	-680820,97	219111,55	-461709,43	-899932,52	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	4,19	-3167,70	-734965,22	32752,53	-702212,69	-767717,75	nevyhoví	nevyhoví
	-9,49	-3443,01	-798842,97	-74104,74	-872947,71	-724738,23	nevyhoví	nevyhoví
	-13,28	-3718,55	-862771,86	-103727,04	-966498,90	-759044,82	nevyhoví	nevyhoví
	-7,47	-3952,57	-917069,49	-58345,21	-975414,70	-858724,28	nevyhoví	nevyhoví
31	-7,47	-3927,79	-911321,30	-58345,21	-969666,51	-852976,09	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-25,72	-4020,38	-932803,04	-200920,77	-1133723,81	-731882,27	nevyhoví	nevyhoví
	-36,62	-4145,61	-961859,44	-286072,76	-1247932,20	-675786,69	nevyhoví	nevyhoví
	-39,39	-4248,33	-985690,72	-307701,80	-1293392,52	-677988,92	nevyhoví	nevyhoví
	-33,60	-4273,35	-991497,12	-262526,52	-1254023,65	-728970,60	nevyhoví	nevyhoví
32	-33,60	-4309,83	-999961,18	-262526,52	-1262487,71	-737434,66	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-50,25	-4175,93	-968893,81	-392595,32	-1361489,13	-576298,48	nevyhoví	nevyhoví
	-62,77	-4070,16	-944352,65	-490408,73	-1434761,38	-453943,91	nevyhoví	nevyhoví
	-54,48	-4126,52	-957428,65	-425649,95	-1383078,61	-531778,70	nevyhoví	nevyhoví
	0,00	-4479,01	-1039212,83	0,00	-1039212,83	-1039212,83	nevyhoví	nevyhoví

Příloha č.3: Posudek obloukové výztuže s krátkými svorníky bez lanové kotvy

Oblouková výztuž s krátkými svorníky								
Element	M [kNm/m]	N [kN/m]	N/A	(M/W)	(N/A)+(M/W)	(N/A)-(M/W)	$\sigma_i < R_e$	$\sigma_i < R_e$
1	0,00	-4386,19	-1017676,98	0,00	-1017676,98	-1017676,98	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-54,43	-4033,35	-935811,51	-425224,64	-1361036,15	-510586,87	nevyhoví	nevyhoví
	-62,32	-3979,75	-923375,64	-486882,70	-1410258,33	-436492,94	nevyhoví	nevyhoví
	-49,76	-4112,25	-954117,47	-388771,33	-1342888,80	-565346,14	nevyhoví	nevyhoví
	-33,53	-4317,69	-1001785,10	-261933,67	-1263718,78	-739851,43	nevyhoví	nevyhoví
2	-33,53	-4273,72	-991583,41	-261933,67	-1253517,08	-729649,74	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-39,62	-4187,52	-971581,74	-309521,45	-1281103,19	-662060,29	nevyhoví	nevyhoví
	-37,04	-4077,82	-946130,60	-289353,20	-1235483,80	-656777,41	nevyhoví	nevyhoví
	-26,35	-3962,92	-919471,88	-205833,76	-1125305,64	-713638,12	nevyhoví	nevyhoví
	-8,09	-3861,10	-895847,45	-63203,98	-959051,43	-832643,47	nevyhoví	nevyhoví
3	-8,09	-3926,05	-910917,05	-63203,98	-974121,03	-847713,07	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-12,99	-3685,38	-855075,45	-101477,14	-956552,59	-753598,31	nevyhoví	nevyhoví
	-8,63	-3408,40	-790810,90	-67454,47	-858265,37	-723356,44	nevyhoví	nevyhoví
	5,34	-3135,71	-727542,48	41691,19	-685851,30	-769233,67	nevyhoví	nevyhoví
	29,33	-2907,91	-674689,26	229130,76	-445558,50	-903820,02	nevyhoví	nevyhoví
4	29,33	-2889,50	-670416,87	229130,76	-441286,11	-899547,63	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	7,75	-2831,52	-656964,18	60561,35	-596402,82	-717525,53	nevyhoví	nevyhoví
	-2,97	-2822,08	-654775,27	-23192,52	-677967,79	-631582,74	nevyhoví	nevyhoví
	-4,84	-2842,23	-659451,07	-37838,61	-697289,67	-621612,46	nevyhoví	nevyhoví
	0,48	-2873,01	-666592,62	3746,85	-662845,77	-670339,47	nevyhoví	nevyhoví
5	0,48	-2863,86	-664468,31	3746,85	-660721,46	-668215,16	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-10,23	-2779,89	-644985,48	-79911,17	-724896,65	-565074,30	nevyhoví	nevyhoví
	-14,29	-2701,99	-626911,81	-111616,73	-738528,54	-515295,08	nevyhoví	nevyhoví
	-12,33	-2624,78	-608998,49	-96344,86	-705343,35	-512653,63	nevyhoví	nevyhoví
	-4,86	-2542,89	-589996,73	-37991,75	-627988,47	-552004,98	nevyhoví	nevyhoví
6	-4,86	-2556,54	-593165,10	-37991,75	-631156,85	-555173,36	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-9,29	-2396,52	-556036,66	-72564,92	-628601,58	-483471,74	nevyhoví	nevyhoví
	-8,69	-2234,25	-518388,35	-67902,34	-586290,69	-450486,02	nevyhoví	nevyhoví
	-1,75	-2105,89	-488604,90	-13690,13	-502295,02	-474914,77	nevyhoví	nevyhoví
	13,78	-2047,56	-475070,90	107637,41	-367433,49	-582708,32	nevyhoví	nevyhoví
7	13,78	-2116,74	-491123,99	107637,41	-383486,58	-598761,40	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-2,39	-2001,28	-464334,32	-18677,10	-483011,42	-445657,21	nevyhoví	nevyhoví
	-8,88	-1941,73	-450517,68	-69407,04	-519924,72	-381110,64	nevyhoví	nevyhoví
	-8,48	-1920,02	-445481,39	-66225,49	-511706,88	-379255,90	nevyhoví	nevyhoví
	-3,05	-1918,09	-445032,78	-23800,31	-468833,09	-421232,47	nevyhoví	nevyhoví
8	-3,05	-1949,85	-452401,76	-23800,31	-476202,07	-428601,45	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-10,16	-1848,28	-428835,75	-79337,09	-508172,84	-349498,67	nevyhoví	vyhoví
	-12,50	-1765,35	-409593,04	-97638,45	-507231,48	-311954,59	nevyhoví	vyhoví
	-10,83	-1714,06	-397693,67	-84582,05	-482275,71	-313111,62	nevyhoví	vyhoví

	-5,71	-1707,44	-396157,68	-44596,45	-440754,13	-351561,23	nevyhoví	nevyhoví
9	-5,71	-1754,29	-407028,75	-44596,45	-451625,20	-362432,29	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-11,35	-1630,83	-378381,74	-88650,75	-467032,49	-289730,99	nevyhoví	vyhoví
	-12,33	-1559,15	-361751,04	-96355,86	-458106,90	-265395,18	nevyhoví	vyhoví
	-7,02	-1523,86	-353563,78	-54875,30	-408439,08	-298688,49	nevyhoví	vyhoví
	7,14	-1509,56	-350246,94	55808,25	-294438,68	-406055,19	vyhoví	nevyhoví
10	7,14	-1553,19	-360368,56	55808,25	-304560,31	-416176,82	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-11,91	-1398,41	-324456,68	-93053,11	-417509,79	-231403,57	nevyhoví	vyhoví
	-21,22	-1283,85	-297877,70	-165790,58	-463668,28	-132087,12	nevyhoví	vyhoví
	-23,99	-1210,91	-280954,34	-187426,34	-468380,67	-93528,00	nevyhoví	vyhoví
	-22,22	-1180,98	-274009,33	-173565,16	-447574,48	-100444,17	nevyhoví	vyhoví
11	-22,22	-1216,12	-282161,72	-173565,16	-455726,87	-108596,56	nevyhoví	vyhoví
TH 34	-23,92	-1113,04	-258245,87	-186861,07	-445106,94	-71384,80	nevyhoví	vyhoví
	-13,88	-1071,15	-248527,33	-108468,49	-356995,82	-140058,84	nevyhoví	vyhoví
	15,45	-1116,97	-259157,42	120706,45	-138450,98	-379863,87	vyhoví	nevyhoví
	72,74	-1277,00	-296287,47	568286,74	271999,27	-864574,21	vyhoví	nevyhoví
12	72,74	-485,63	-112674,93	568286,74	455611,81	-680961,67	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	46,28	-389,27	-90318,85	361567,04	271248,19	-451885,89	vyhoví	nevyhoví
	27,33	-289,60	-67192,48	213494,13	146301,65	-280686,60	vyhoví	vyhoví
	15,31	-222,98	-51734,40	119579,32	67844,92	-171313,72	vyhoví	vyhoví
	9,26	-225,77	-52383,24	72336,46	19953,22	-124719,71	vyhoví	vyhoví
13	9,26	-233,86	-54260,72	72336,46	18075,74	-126597,19	vyhoví	vyhoví
TH 34	5,42	-218,51	-50698,62	42363,62	-8335,00	-93062,24	vyhoví	vyhoví
	3,65	-209,66	-48646,14	28518,45	-20127,69	-77164,59	vyhoví	vyhoví
	3,36	-216,18	-50157,10	26261,38	-23895,72	-76418,48	vyhoví	vyhoví
	4,11	-246,90	-57285,30	32111,70	-25173,60	-89396,99	vyhoví	vyhoví
14	4,11	-255,92	-59377,98	32111,70	-27266,28	-91489,67	vyhoví	vyhoví
TH 34	3,31	-224,58	-52107,52	25821,36	-26286,16	-77928,88	vyhoví	vyhoví
	2,62	-195,62	-45386,43	20449,35	-24937,08	-65835,79	vyhoví	vyhoví
	2,10	-172,20	-39952,72	16375,57	-23577,15	-56328,29	vyhoví	vyhoví
	1,81	-157,51	-36544,39	14165,93	-22378,47	-50710,32	vyhoví	vyhoví
15	1,81	-158,51	-36777,59	14165,93	-22611,67	-50943,52	vyhoví	vyhoví
TH 34	0,86	-127,14	-29498,53	6683,54	-22814,99	-36182,06	vyhoví	vyhoví
	0,18	-102,12	-23692,68	1371,05	-22321,63	-25063,74	vyhoví	vyhoví
	-0,11	-86,28	-20018,35	-835,89	-20854,24	-19182,45	vyhoví	vyhoví
	0,20	-82,47	-19133,81	1535,69	-17598,12	-20669,49	vyhoví	vyhoví
16	0,20	-90,99	-21111,50	1535,69	-19575,82	-22647,19	vyhoví	vyhoví
TH 34	-0,73	-64,18	-14890,96	-5717,35	-20608,30	-9173,61	vyhoví	vyhoví
	-1,14	-53,69	-12455,98	-8880,75	-21336,73	-3575,23	vyhoví	vyhoví
	-1,17	-52,68	-12222,56	-9157,75	-21380,31	-3064,81	vyhoví	vyhoví
	-0,93	-54,33	-12606,65	-7257,66	-19864,32	-5348,99	vyhoví	vyhoví
17	-0,93	-54,72	-12696,68	-7257,66	-19954,34	-5439,02	vyhoví	vyhoví
TH 34	-1,22	-55,56	-12889,82	-9498,71	-22388,54	-3391,11	vyhoví	vyhoví
	-1,25	-59,32	-13763,42	-9774,14	-23537,57	-3989,28	vyhoví	vyhoví
	-0,95	-71,20	-16519,59	-7406,99	-23926,59	-9112,60	vyhoví	vyhoví

	-0,15	-96,37	-22360,44	-1150,28	-23510,71	-21210,16	vyhoví	vyhoví
18	-0,15	-94,55	-21937,32	-1150,28	-23087,60	-20787,04	vyhoví	vyhoví
TH 34	-0,73	-92,15	-21380,30	-5680,53	-27060,83	-15699,77	vyhoví	vyhoví
	-0,87	-100,99	-23431,40	-6791,02	-30222,42	-16640,38	vyhoví	vyhoví
	-0,67	-118,84	-27572,64	-5223,35	-32795,99	-22349,29	vyhoví	vyhoví
	-0,17	-143,46	-33286,04	-1297,87	-34583,91	-31988,17	vyhoví	vyhoví
19	-0,17	-141,32	-32787,98	-1297,87	-34085,85	-31490,11	vyhoví	vyhoví
TH 34	-0,24	-151,09	-35054,82	-1873,50	-36928,33	-33181,32	vyhoví	vyhoví
	0,01	-170,35	-39523,74	88,36	-39435,39	-39612,10	vyhoví	vyhoví
	0,66	-203,34	-47179,69	5155,06	-42024,63	-52334,75	vyhoví	vyhoví
	1,80	-254,32	-59007,61	14067,49	-44940,12	-73075,11	vyhoví	vyhoví
20	1,80	-246,85	-57274,50	14067,49	-43207,00	-71341,99	vyhoví	vyhoví
TH 34	1,49	-248,10	-57562,91	11647,00	-45915,91	-69209,91	vyhoví	vyhoví
	1,58	-265,15	-61519,22	12370,78	-49148,44	-73890,00	vyhoví	vyhoví
	2,18	-301,16	-69874,37	17055,88	-52818,49	-86930,26	vyhoví	vyhoví
	3,45	-359,28	-83359,31	26927,45	-56431,86	-110286,77	vyhoví	vyhoví
21	3,45	-337,14	-78222,17	26927,45	-51294,71	-105149,62	vyhoví	vyhoví
TH 34	2,99	-344,63	-79960,90	23333,16	-56627,74	-103294,07	vyhoví	vyhoví
	3,13	-363,49	-84336,94	24438,14	-59898,80	-108775,08	vyhoví	vyhoví
	3,78	-393,77	-91362,67	29495,15	-61867,52	-120857,82	vyhoví	vyhoví
	4,90	-435,53	-101050,51	38314,25	-62736,26	-139364,76	vyhoví	vyhoví
22	4,90	-421,06	-97694,78	38314,25	-59380,53	-136009,04	vyhoví	vyhoví
TH 34	4,29	-411,84	-95555,67	33537,75	-62017,92	-129093,41	vyhoví	vyhoví
	4,15	-413,87	-96024,48	32389,42	-63635,05	-128413,90	vyhoví	vyhoví
	4,64	-428,37	-99388,81	36214,98	-63173,84	-135603,79	vyhoví	vyhoví
	6,04	-456,59	-105936,29	47194,82	-58741,47	-153131,10	vyhoví	vyhoví
23	6,04	-444,71	-103182,07	47194,82	-55987,26	-150376,89	vyhoví	vyhoví
TH 34	5,68	-412,97	-95816,73	44373,05	-51443,67	-140189,78	vyhoví	vyhoví
	6,63	-405,12	-93996,04	51831,02	-42165,02	-145827,06	vyhoví	vyhoví
	9,42	-423,50	-98260,85	73589,42	-24671,43	-171850,27	vyhoví	vyhoví
	14,76	-470,45	-109152,00	115291,80	6139,81	-224443,80	vyhoví	vyhoví
24	14,76	-463,05	-107436,48	115291,80	7855,32	-222728,29	vyhoví	vyhoví
TH 34	20,23	-522,20	-121159,65	158024,91	36865,26	-279184,55	vyhoví	vyhoví
	32,24	-585,48	-135841,33	251898,14	116056,81	-387739,47	vyhoví	nevyhoví
	43,78	-683,72	-158635,50	342023,58	183388,08	-500659,08	vyhoví	nevyhoví
	43,86	-847,76	-196696,12	342675,43	145979,31	-539371,55	vyhoví	nevyhoví
25	43,86	-1372,09	-318351,23	342675,43	24324,20	-661026,66	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-14,22	-1361,12	-315805,36	-111067,73	-426873,09	-204737,63	nevyhoví	vyhoví
	-34,92	-1431,75	-332192,18	-272846,33	-605038,51	-59345,85	nevyhoví	vyhoví
	-34,87	-1566,51	-363460,35	-272428,47	-635888,82	-91031,88	nevyhoví	vyhoví
	-26,76	-1747,96	-405558,49	-209087,88	-614646,37	-196470,62	nevyhoví	vyhoví
26	-26,76	-1736,51	-402902,44	-209087,88	-611990,31	-193814,56	nevyhoví	vyhoví
TH 34	-27,45	-1794,13	-416271,86	-214464,15	-630736,00	-201807,71	nevyhoví	vyhoví
	-23,42	-1857,37	-430943,74	-182942,60	-613886,34	-248001,13	nevyhoví	vyhoví
	-12,99	-1941,30	-450418,72	-101489,00	-551907,72	-348929,72	nevyhoví	vyhoví

	6,37	-2061,03	-478197,42	49782,60	-428414,82	-527980,02	nevyhoví	nevyhoví
27	6,37	-2004,14	-464998,77	49782,60	-415216,17	-514781,37	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-7,26	-2103,91	-488145,99	-56690,95	-544836,94	-431455,04	nevyhoví	nevyhoví
	-13,12	-2260,03	-524369,44	-102511,73	-626881,18	-421857,71	nevyhoví	nevyhoví
	-12,84	-2450,62	-568589,84	-100336,51	-668926,35	-468253,33	nevyhoví	nevyhoví
	-7,32	-2653,79	-615727,89	-57217,79	-672945,67	-558510,10	nevyhoví	nevyhoví
28	-7,32	-2649,87	-614818,58	-57217,79	-672036,37	-557600,80	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-14,85	-2683,32	-622579,84	-116027,51	-738607,35	-506552,33	nevyhoví	nevyhoví
	-16,55	-2745,57	-637023,09	-129319,38	-766342,46	-507703,71	nevyhoví	nevyhoví
	-11,69	-2834,95	-657760,95	-91323,63	-749084,58	-566437,33	nevyhoví	nevyhoví
	0,37	-2949,79	-684406,10	2904,51	-681501,59	-687310,61	nevyhoví	nevyhoví
29	0,37	-2944,65	-683213,62	2904,51	-680309,11	-686118,13	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-4,95	-2901,56	-673216,08	-38663,37	-711879,45	-634552,71	nevyhoví	nevyhoví
	-3,31	-2868,15	-665464,13	-25868,57	-691332,70	-639595,56	nevyhoví	nevyhoví
	7,00	-2865,10	-664756,94	54665,62	-610091,31	-719422,56	nevyhoví	nevyhoví
	28,07	-2913,10	-675893,62	219297,61	-456596,01	-895191,23	nevyhoví	nevyhoví
30	28,07	-2936,98	-681433,20	219297,61	-462135,59	-900730,81	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	4,20	-3170,42	-735595,94	32819,73	-702776,21	-768415,67	nevyhoví	nevyhoví
	-9,48	-3445,80	-799489,58	-74100,97	-873590,55	-725388,61	nevyhoví	nevyhoví
	-13,28	-3721,39	-863431,18	-103731,95	-967163,13	-759699,24	nevyhoví	nevyhoví
	-7,46	-3955,45	-917737,77	-58305,30	-976043,08	-859432,47	nevyhoví	nevyhoví
31	-7,46	-3930,66	-911986,40	-58305,30	-970291,71	-853681,10	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-25,72	-4023,21	-933458,63	-200965,48	-1134424,11	-732493,15	nevyhoví	nevyhoví
	-36,63	-4148,39	-962502,97	-286157,00	-1248659,97	-676345,97	nevyhoví	nevyhoví
	-39,40	-4251,04	-986320,49	-307782,13	-1294102,62	-678538,35	nevyhoví	nevyhoví
	-33,61	-4276,00	-992112,30	-262559,95	-1254672,25	-729552,34	nevyhoví	nevyhoví
32	-33,61	-4312,47	-1000573,23	-262559,95	-1263133,18	-738013,27	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-50,26	-4178,38	-969460,95	-392694,49	-1362155,44	-576766,46	nevyhoví	nevyhoví
	-62,79	-4072,37	-944864,94	-490551,66	-1435416,60	-454313,29	nevyhoví	nevyhoví
	-54,50	-4128,52	-957893,92	-425780,20	-1383674,12	-532113,73	nevyhoví	nevyhoví
	0,00	-4480,92	-1039656,59	0,00	-1039656,59	-1039656,59	nevyhoví	nevyhoví

Příloha č.4: Posudek obloukové výztuže s krátkými svorníky a lanovými kotvy IR-4E
bez základky nadvýlomů

Oblouková výztuž s krátkými svorníky a lanovými kotvy IR-4E bez základky nadvýlomů								
Element	M [kNm/m]	N [kN/m]	N/A	(M/W)	(N/A)+(M/W)	(N/A)-(M/W)	$\sigma_i < R_e$	$\sigma_i < R_e$
1	0,00	-4381,23	-1016526,77	0,00	-1016526,77	-1016526,77	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-54,60	-4021,92	-933159,51	-426548,56	-1359708,08	-506610,95	nevyhoví	nevyhoví
	-62,62	-3968,26	-920711,04	-489186,81	-1409897,86	-431524,23	nevyhoví	nevyhoví
	-50,23	-4104,63	-952349,70	-392394,05	-1344743,75	-559955,65	nevyhoví	nevyhoví
	-34,24	-4315,36	-1001243,78	-267524,33	-1268768,11	-733719,45	nevyhoví	nevyhoví
2	-34,24	-4256,53	-987592,81	-267524,33	-1255117,14	-720068,48	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-40,32	-4157,04	-964509,44	-315018,20	-1279527,64	-649491,25	nevyhoví	nevyhoví
	-37,62	-4039,51	-937240,53	-293926,86	-1231167,39	-643313,67	nevyhoví	nevyhoví
	-26,85	-3915,11	-908377,89	-209775,56	-1118153,45	-698602,33	nevyhoví	nevyhoví
	-8,62	-3795,01	-880513,20	-67305,19	-947818,39	-813208,01	nevyhoví	nevyhoví
3	-8,62	-3863,88	-896491,90	-67305,19	-963797,09	-829186,71	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-13,15	-3606,22	-836709,70	-102711,77	-939421,47	-733997,92	nevyhoví	nevyhoví
	-8,47	-3309,89	-767955,22	-66133,86	-834089,08	-701821,36	nevyhoví	nevyhoví
	5,59	-3014,92	-699517,59	43649,50	-655868,09	-743167,09	nevyhoví	nevyhoví
	29,18	-2761,36	-640685,89	227983,27	-412702,62	-868669,17	nevyhoví	nevyhoví
4	29,18	-2743,47	-636535,48	227983,27	-408552,20	-864518,75	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	8,14	-2660,11	-617194,13	63599,52	-553594,61	-680793,65	nevyhoví	nevyhoví
	-2,45	-2626,12	-609308,03	-19110,60	-628418,63	-590197,43	nevyhoví	nevyhoví
	-4,64	-2624,05	-608828,31	-36267,09	-645095,40	-572561,21	nevyhoví	nevyhoví
	-0,15	-2636,45	-611706,15	-1170,69	-612876,84	-610535,46	nevyhoví	nevyhoví
5	-0,15	-2620,64	-608037,70	-1170,69	-609208,40	-606867,01	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-10,14	-2509,74	-582305,66	-79192,02	-661497,68	-503113,64	nevyhoví	nevyhoví
	-13,81	-2405,14	-558037,49	-107852,96	-665890,46	-450184,53	nevyhoví	nevyhoví
	-11,90	-2299,19	-533453,69	-92930,55	-626384,24	-440523,14	nevyhoví	nevyhoví
	-4,99	-2184,20	-506774,76	-39014,52	-545789,28	-467760,24	nevyhoví	nevyhoví
6	-4,99	-2200,35	-510522,23	-39014,52	-549536,75	-471507,71	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-8,06	-2004,57	-465096,40	-62930,87	-528027,27	-402165,54	nevyhoví	nevyhoví
	-6,68	-1815,29	-421180,58	-52161,27	-473341,85	-369019,31	nevyhoví	nevyhoví
	0,39	-1668,68	-387165,71	3007,91	-384157,79	-390173,62	nevyhoví	nevyhoví
	15,36	-1600,92	-371442,69	119971,73	-251470,96	-491414,43	vyhoví	nevyhoví
7	15,36	-1660,81	-385338,35	119971,73	-265366,62	-505310,09	vyhoví	nevyhoví
TH 34	3,70	-1526,16	-354096,68	28909,77	-325186,91	-383006,45	vyhoví	nevyhoví
	0,24	-1467,82	-340562,51	1886,02	-338676,49	-342448,52	vyhoví	vyhoví
	0,76	-1483,09	-344104,94	5935,12	-338169,82	-350040,06	vyhoví	nevyhoví
	1,80	-1569,24	-364093,20	14024,36	-350068,84	-378117,57	nevyhoví	nevyhoví
8	1,80	-1720,74	-399244,36	14024,36	-385220,00	-413268,73	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-9,29	-1279,55	-296880,49	-72571,19	-369451,68	-224309,30	nevyhoví	vyhoví
	-12,95	-1057,89	-245450,23	-101158,80	-346609,03	-144291,44	vyhoví	vyhoví

	-12,57	-912,46	-211707,59	-98222,40	-309929,99	-113485,19	vyhoví	vyhoví
	-10,62	-699,97	-162406,54	-82984,60	-245391,14	-79421,94	vyhoví	vyhoví
9	-10,62	-763,03	-177037,22	-82984,60	-260021,82	-94052,62	vyhoví	vyhoví
TH 34	-12,51	-535,74	-124302,00	-97770,05	-222072,05	-26531,96	vyhoví	vyhoví
	-10,10	-362,78	-84171,34	-78941,00	-163112,34	-5230,34	vyhoví	vyhoví
	-3,92	-222,12	-51536,82	-30649,22	-82186,04	-20887,60	vyhoví	vyhoví
	5,65	-91,76	-21290,02	44141,48	22851,46	-65431,50	vyhoví	vyhoví
10	5,65	-104,57	-24261,13	44141,48	19880,35	-68402,62	vyhoví	vyhoví
TH 34	-8,88	170,23	39495,74	-69338,85	-29843,11	108834,59	vyhoví	vyhoví
	-18,15	300,51	69724,28	-141829,52	-72105,24	211553,80	vyhoví	vyhoví
	-26,65	324,38	75263,24	-208211,30	-132948,06	283474,54	vyhoví	vyhoví
	-37,67	279,94	64951,38	-294285,14	-229333,76	359236,52	vyhoví	nevyhoví
11	-37,67	332,51	77149,58	-294285,14	-217135,56	371434,72	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-49,56	288,15	66857,06	-387222,36	-320365,30	454079,42	vyhoví	nevyhoví
	-56,85	245,22	56896,42	-444118,07	-387221,65	501014,49	nevyhoví	nevyhoví
	-60,87	176,19	40878,58	-475516,70	-434638,12	516395,27	nevyhoví	nevyhoví
	-65,37	53,51	12414,48	-510739,70	-498325,23	523154,18	nevyhoví	nevyhoví
12	-65,37	-276,04	-64046,46	-510739,70	-574786,16	446693,24	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-55,35	-276,01	-64039,84	-432426,16	-496465,99	368386,32	nevyhoví	nevyhoví
	-45,32	-275,98	-64033,21	-354045,47	-418078,68	290012,26	nevyhoví	vyhoví
	-35,28	-275,95	-64026,59	-275633,88	-339660,46	211607,29	vyhoví	vyhoví
	-25,25	-275,93	-64019,97	-197227,59	-261247,56	133207,63	vyhoví	vyhoví
13	-25,25	-288,38	-66910,45	-197227,59	-264138,05	130317,14	vyhoví	vyhoví
TH 34	-17,92	-288,36	-66905,17	-140010,01	-206915,18	73104,84	vyhoví	vyhoví
	-10,59	-288,34	-66899,89	-82732,83	-149632,71	15832,94	vyhoví	vyhoví
	-3,25	-288,32	-66894,60	-25422,54	-92317,14	-41472,07	vyhoví	vyhoví
	4,08	-288,29	-66889,32	31894,39	-34994,93	-98783,71	vyhoví	vyhoví
14	4,08	-297,68	-69067,13	31894,39	-37172,74	-100961,52	vyhoví	vyhoví
TH 34	8,14	-297,66	-69063,51	63562,52	-5500,98	-132626,03	vyhoví	vyhoví
	12,20	-297,65	-69059,88	95280,26	26220,38	-164340,14	vyhoví	vyhoví
	16,26	-297,63	-69056,25	127032,93	57976,68	-196089,18	vyhoví	vyhoví
	20,33	-297,62	-69052,63	158805,87	89753,24	-227858,49	vyhoví	vyhoví
15	20,33	-307,54	-71354,00	158805,87	87451,86	-230159,87	vyhoví	vyhoví
TH 34	25,16	-307,52	-71351,48	196566,76	125215,28	-267918,24	vyhoví	vyhoví
	30,00	-307,51	-71348,96	234380,86	163031,90	-305729,82	vyhoví	vyhoví
	34,85	-307,50	-71346,43	272230,69	200884,25	-343577,12	vyhoví	vyhoví
	39,69	-307,49	-71343,91	310098,76	238754,85	-381442,67	vyhoví	nevyhoví
16	39,69	-312,56	-72520,32	310098,76	237578,44	-382619,08	vyhoví	nevyhoví
TH 34	41,10	-312,56	-72519,53	321086,60	248567,07	-393606,14	vyhoví	nevyhoví
	42,51	-312,56	-72518,74	332115,98	259597,23	-404634,72	vyhoví	nevyhoví
	43,93	-312,55	-72517,96	343181,78	270663,83	-415699,74	vyhoví	nevyhoví
	45,35	-312,55	-72517,17	354278,90	281761,73	-426796,07	vyhoví	nevyhoví
17	45,35	-312,34	-72469,15	354278,90	281809,75	-426748,04	vyhoví	nevyhoví
TH 34	43,64	-312,35	-72469,94	340963,75	268493,81	-413433,69	vyhoví	nevyhoví
	41,94	-312,35	-72470,72	327678,91	255208,18	-400149,63	vyhoví	nevyhoví

	40,25	-312,35	-72471,51	314430,48	241958,97	-386901,99	vyhoví	nevyhoví
	38,56	-312,36	-72472,30	301224,61	228752,31	-373696,91	vyhoví	nevyhoví
18	38,56	-306,83	-71190,07	301224,61	230034,54	-372414,68	vyhoví	nevyhoví
TH 34	33,43	-306,84	-71192,59	261178,72	189986,12	-332371,31	vyhoví	vyhoví
	28,31	-306,85	-71195,12	221150,06	149954,94	-292345,18	vyhoví	vyhoví
	23,19	-306,86	-71197,64	181157,13	109959,49	-252354,78	vyhoví	vyhoví
	18,08	-306,87	-71200,16	141218,42	70018,26	-212418,59	vyhoví	vyhoví
19	18,08	-310,22	-71976,25	141218,42	69242,17	-213194,67	vyhoví	vyhoví
TH 34	22,01	-310,23	-71979,87	171969,26	99989,39	-243949,13	vyhoví	vyhoví
	25,95	-310,25	-71983,50	202769,06	130785,56	-274752,56	vyhoví	vyhoví
	29,90	-310,26	-71987,13	233603,59	161616,46	-305590,72	vyhoví	vyhoví
	33,85	-310,28	-71990,75	264458,60	192467,85	-336449,36	vyhoví	vyhoví
20	33,85	-313,90	-72831,68	264458,60	191626,93	-337290,28	vyhoví	vyhoví
TH 34	34,32	-313,93	-72836,96	268123,60	195286,65	-340960,56	vyhoví	vyhoví
	34,79	-313,95	-72842,24	271823,44	198981,20	-344665,68	vyhoví	vyhoví
	35,27	-313,97	-72847,52	275556,38	202708,86	-348403,91	vyhoví	vyhoví
	35,75	-314,00	-72852,81	279320,73	206467,92	-352173,53	vyhoví	nevyhoví
21	35,75	-312,55	-72516,51	279320,73	206804,21	-351837,24	vyhoví	nevyhoví
TH 34	33,22	-312,57	-72523,13	259555,66	187032,52	-332078,79	vyhoví	vyhoví
	30,70	-312,60	-72529,76	239812,57	167282,81	-312342,33	vyhoví	vyhoví
	28,17	-312,63	-72536,38	220100,59	147564,20	-292636,97	vyhoví	vyhoví
	25,65	-312,66	-72543,00	200428,82	127885,82	-272971,82	vyhoví	vyhoví
22	25,65	-306,78	-71179,34	200428,82	129249,48	-271608,16	vyhoví	vyhoví
TH 34	20,10	-306,82	-71187,22	157031,19	85843,96	-228218,41	vyhoví	vyhoví
	14,55	-306,85	-71195,11	113642,00	42446,89	-184837,11	vyhoví	vyhoví
	9,00	-306,88	-71203,00	70281,29	-921,71	-141484,29	vyhoví	vyhoví
	3,45	-306,92	-71210,88	26969,10	-44241,78	-98179,98	vyhoví	vyhoví
23	3,45	-296,56	-68807,50	26969,10	-41838,39	-95776,60	vyhoví	vyhoví
TH 34	-5,05	-296,60	-68816,52	-39454,45	-108270,97	-29362,07	vyhoví	vyhoví
	-13,55	-296,64	-68825,55	-105883,27	-174708,82	37057,72	vyhoví	vyhoví
	-22,05	-296,68	-68834,58	-172286,66	-241121,24	103452,07	vyhoví	vyhoví
	-30,55	-296,72	-68843,61	-238633,93	-307477,54	169790,32	vyhoví	vyhoví
24	-30,55	-282,82	-65619,48	-238633,93	-304253,41	173014,45	vyhoví	vyhoví
TH 34	-41,71	-282,86	-65629,45	-325849,36	-391478,81	260219,91	nevyhoví	vyhoví
	-52,87	-282,91	-65639,43	-413082,95	-478722,37	347443,52	nevyhoví	vyhoví
	-64,04	-282,95	-65649,41	-500294,37	-565943,77	434644,96	nevyhoví	nevyhoví
	-75,19	-282,99	-65659,38	-587443,34	-653102,71	521783,96	nevyhoví	nevyhoví
25	-75,19	60,06	13935,69	-587443,34	-573507,65	601379,03	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-69,05	343,11	79607,39	-539441,66	-459834,28	619049,05	nevyhoví	nevyhoví
	-60,51	508,85	118062,46	-472765,16	-354702,70	590827,62	nevyhoví	nevyhoví
	-52,41	597,92	138729,39	-409457,44	-270728,05	548186,83	vyhoví	nevyhoví
	-47,31	650,97	151036,65	-369603,26	-218566,61	520639,91	vyhoví	nevyhoví
26	-47,31	713,81	165616,88	-369603,26	-203986,37	535220,14	vyhoví	nevyhoví
TH 34	-39,80	656,97	152429,28	-310900,12	-158470,84	463329,39	vyhoví	nevyhoví
	-31,78	533,39	123757,12	-248305,41	-124548,29	372062,52	vyhoví	nevyhoví

	-21,05	320,71	74410,79	-164414,24	-90003,45	238825,04	vyhoví	vyhoví
	-4,64	-3,45	-799,31	-36263,65	-37062,95	35464,34	vyhoví	vyhoví
27	-4,64	31,28	7257,62	-36263,65	-29006,03	43521,26	vyhoví	vyhoví
TH 34	-10,37	-105,96	-24584,57	-81028,15	-105612,72	56443,58	vyhoví	vyhoví
	-15,12	-287,42	-66687,15	-118122,70	-184809,85	51435,55	vyhoví	vyhoví
	-18,69	-531,00	-123201,25	-146008,64	-269209,89	22807,39	vyhoví	vyhoví
	-20,57	-854,58	-198277,99	-160717,98	-358995,97	-37560,00	nevyhoví	vyhoví
28	-20,57	-811,20	-188213,60	-160717,98	-348931,58	-27495,61	vyhoví	vyhoví
TH 34	-26,01	-1121,26	-260152,04	-203180,98	-463333,03	-56971,06	nevyhoví	vyhoví
	-29,12	-1394,76	-323609,70	-227517,30	-551127,00	-96092,39	nevyhoví	vyhoví
	-23,95	-1784,35	-414001,16	-187082,83	-601083,99	-226918,33	nevyhoví	vyhoví
	-3,38	-2442,65	-566741,02	-26413,00	-593154,02	-540328,02	nevyhoví	nevyhoví
29	-3,38	-2410,00	-559163,71	-26413,00	-585576,71	-532750,72	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	10,79	-2367,22	-549238,33	84275,63	-464962,70	-633513,96	nevyhoví	nevyhoví
	23,59	-2282,82	-529656,75	184293,31	-345363,44	-713950,06	vyhoví	nevyhoví
	36,21	-2160,22	-501210,26	282890,72	-218319,54	-784100,97	vyhoví	nevyhoví
	50,26	-2002,81	-464690,16	392623,34	-72066,82	-857313,51	vyhoví	nevyhoví
30	50,26	-2053,57	-476466,68	392623,34	-83843,34	-869090,03	vyhoví	nevyhoví
TH 34	26,34	-2206,01	-511835,57	205794,59	-306040,97	-717630,16	vyhoví	nevyhoví
	10,31	-2429,08	-563592,16	80565,77	-483026,38	-644157,93	nevyhoví	nevyhoví
	1,99	-2665,00	-618330,21	15538,02	-602792,19	-633868,23	nevyhoví	nevyhoví
	1,23	-2855,99	-662643,62	9590,26	-653053,36	-672233,88	nevyhoví	nevyhoví
31	1,23	-2845,92	-660306,45	9590,26	-650716,19	-669896,71	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-16,89	-2978,80	-691137,22	-131938,74	-823075,96	-559198,47	nevyhoví	nevyhoví
	-29,43	-3149,26	-730687,19	-229955,11	-960642,30	-500732,08	nevyhoví	nevyhoví
	-35,41	-3300,91	-765873,18	-276660,89	-1042534,07	-489212,29	nevyhoví	nevyhoví
	-34,19	-3377,37	-783611,90	-267086,91	-1050698,81	-516525,00	nevyhoví	nevyhoví
32	-34,19	-3418,51	-793158,40	-267086,91	-1060245,31	-526071,49	nevyhoví	nevyhoví
TH 34	-49,64	-3387,57	-785978,14	-387807,55	-1173785,70	-398170,59	nevyhoví	nevyhoví
	-61,40	-3395,58	-787836,64	-479701,71	-1267538,35	-308134,92	nevyhoví	vyhoví
	-53,05	-3558,04	-825531,02	-414483,80	-1240014,82	-411047,22	nevyhoví	nevyhoví
	0,00	-3990,45	-925858,45	0,00	-925858,45	-925858,45	nevyhoví	nevyhoví